



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL DE FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

ESTUDI D'OPTIMITZACIÓ D'UN MOTOR DE COMBUSTIÓ

Volum I

Memòria i Annexos



Autor: Jonatan Capó Farmer

Oriol Fosalba Vidal

Director: Giovanni Gómez Gras

Convocatòria: Juny 2018



RESUM

En un etorn molt conscient sobre la contaminació i la baixa eficiència dels motors tèrmics, qualsevol petita millora en aquests sistemes d'impulsió de vehicles és un gran pas. En aquest treball es pretén estudiar, per posteriorment dissenyar i dimensionar, un sistema d'injecció d'aigua i metanol.

Aquest sistema hauria de dotar al motor d'una major eficiència, major potència, en redueix el consum de combustible i l'emissió de gasos contaminants que el mateix emet a l'atmosfera.

Tots aquests factors s'estudiaràn al llarg del treball, per comprovar la certesa dels mateixos, arribant a la conclusió de si realment aquest sistema és una solució viable per als motors de combustió interna actuals.

Paraules clau: Metanol, aigua, motor, combustió.



RESUMEN

En un entorno consciente sobre la contaminación y la baja eficiencia de los motores termico, cualquier mejora en estos sistemas de impulsión de vehículos es un gran avance. En este trabajo se pretende estudiar, para posteriormente dissenyar y dimensionar, un sistema de inyección de agua y metanol.

Este sistema dota al motor de una mayor eficiencia, mayor potencia, reduce el consumo de combustible, y las emisiones de gases contaminantes que el mismo emite a la atmosfera.

Todos estos factores se van a estudiar a lo largo del trabajo, y se va a determinar la certeza de los mismos, llegando a la conclusión de si realmente este sistema es una solución viable para los motores de combustión interna actuales.

Palabras clave: Metanol, agua, motor, combustión.



ABSTRACT

In an environment aware of the pollution and low efficiency of the heat engines, any improvement in these impulsion systems is a breakthrough. The aim of this project is to study, for later design and dimensioning, a water and methanol injection system.

This system provides the engine better efficiency, more power, reduces fuel consumption and the emission of polluting gases into the atmosphere.

All these factors will be studied throughout the project, and the truth will be determined to conclude if this system is a viable solution for today's internal combustion engines.

Key words: Methanol, water, engine, combustion.





AGRAÏMENTS

A *Lauren Mitchell*, d'AEM Performance Electronics per l'ajuda a l'hora de realitzar la documentació prèvia a l'elaboració del projecte.

A *Matt Cruz*, d'AEM Performance Electronics per l'ajuda a l'hora de realitzar la documentació prèvia a l'elaboració del projecte.

A *Andreas*, de DDBST per l'ajuda a l'hora d'interpretar els valors de les taules de la empresa DDBST, on s'hi mostren valors de propietats dels fluids emprats. I per l'ajuda aportada a l'hora de calcular les propietats de les dissolucions.

A *Carlos Ruiz*, professor de l'EEBE per l'ajuda a l'hora de calcular les propietats de les dissolucions, proporcionant-nos software i consell.

A *Giovanni Gómez Gras*, professor de l'EEBE per aconsellar-nos al llarg de l'elaboració de tot el projecte.

A *David Zanuy*, professor de l'EEBE per ajudar-nos a l'inici de l'elaboració del projecte a orientar el format del mateix.

GLOSSARI

SÍMBOLS

Símbol	Unidad S.T.	Descripció
C	[-]	Percentatge volumètric d'una substància
\dot{C}	[m ³ /s]	Cabal volumètric
c_p	[kJ/kg·K]	Capacitat calorífica
d_i	[mm]	Diàmetre del cilindre
f_e	[-]	Factor d'entrada
h	[kJ/kg]	Entalpia
m	[kg]	Massa
\dot{m}	[kg/s]	Cabal màssic
M	[g/mol]	Massa molecular
n	[-]	Revolucions del motor per cicle
n_c	[-]	Número de cilindres
p	[Pa]	Pressió
p_{ws}	[Pa]	Pressió de saturació de l'aigua
Q	[kW]	Calor intercanviat en un processés termodinàmic
RON	[-]	Índex d'octà
rpm	[voltes/min]	Revolucions per minut
s	[mm]	Carrera del pistó
T	[K]	Temperatura
V	[cm ³]	Volum
V_{cc}	[cm ³]	Volum de la cambra de combustió
V_t	[cm ³]	Cilindrada del motor

W	[kJ]	Treball d'un sistema.
x	[-]	Fracció molar
η_v	[-]	Rendiment volumètric
λ	[-]	Relació d'equivalència aire-combustible
ϕ	[-]	Relació d'equivalència combustible-aire
ρ	[kg/m ³]	Densitat
Δh	[kJ/kg]	Variació d'entalpia
ΔT	[°C]	Variació de temperatura.

SUBÍNDICES

Subíndex	Descripció
a / air	Aire
blend	Barreja
c	Combustible
e	Entrada
g / gas	Gasolina
ka	Quilogram d'aire
kf	Quilogram de combustible
la	Litres d'aire
m / met	Metanol
s	Sortida
stoich	Estequiomètric
t	Total
w / wat	Aigua



ABREVIATURES

Abreviatura	Descripció
AFR	Relació aire-combustible
FAR	Relació combustible-aire
IMEP	Pressió efectiva mitja
ISFC	Consum de combustible específic
MW50	Barreja de 50% d'aigua i 50% de metanol en volum

ÍNDEX

RESUM	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
AGRAÏMENTS	6
GLOSSARI	7
Símbols	7
Subíndexs.....	8
Abreviatures	9
ÍNDEX DE FIGURES	13
ÍNDEX DE TAULES	15
CAPÍTOL 0: INTRODUCCIÓ	16
0.1 OBJECTIUS	16
0.1.1 OBJECTIU PRINCIPAL.....	16
0.1.2 OBJECTIUS ESPECÍFICS	16
CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ TEÒRICA	17
1.1 ANTECEDENTS.....	17
1.2 ACTUALITAT	18
1.3 QUÈ ÉS EL MW50?	19
1.4 COM FUNCIONA EL MW50?.....	19
1.5 PER A QUÈ SERVEIX EL MW50?.....	21
1.5.1 PROS I CONTRES	21
1.6 PERQUÈ H ₂ O AMB METHANOL?.....	25
CAPÍTOL 2: DISSENY DEL SISTEMA	28
2.1 DIPÒSIT	29

2.1.1 PROCÉS DE FABRICACIÓ DELS ELEMENTS FABRICATS.....	31
2.2 BOMBA	31
2.3 INJECTOR	33
2.4 CONTROLADOR.....	33
2.5 CONDUCTES DE FLUID	35
2.6 CONNEXIÓ A L'ECU DEL VEHÍCLE.....	35
2.7 SISTEMA ELECTRIC.....	36
CAPÍTOL 3: INSTAL·LACIÓ I MANTENIMENT	37
3.1 INSTAL·LACIÓ	37
3.2 ADAPTACIÓ DEL SISTEMA.....	39
3.3 MANTENIMENT DELS SISTEMA	40
CAPÍTOL 4: CÀLCULS DEL SISTEMA	41
4.1 HIPÒTESIS, SIMPLIFICACIONS I ACLARIMENTS.....	41
4.2 DADES	42
4.3 CÀLCULS.....	42
4.3.1 CÀLCULS BÀSICS	42
4.3.2 RELACIÓ AIRE-COMBUSTIBLE (AFR)	44
4.3.3 CONSUM DEL SISTEMA.....	46
4.3.4 ÍNDEX D'OCTÀ.....	47
4.3.5 INTERCANVI DE CALOR.....	48
4.3.6 EFECTE DEL CABAL SOBRE LA TEMPERATURA.....	52
4.3.7 EMISSIONS.....	53
CAPÍTOL 5: IMPACTE MEDIAMBIENTAL	55
5.1 IMPACTE DEL FUNCIONAMENT NORMAL DEL SISTEMA.....	55
5.2 IMPACTE EN CAS D'ACCIDENT.....	55
CAPÍTOL 6: CONCLUSIONS	56



CAPÍTOL 7: TREBALLS FUTURS	57
7.1 COMPROVACIÓ DE L'AUGMENT DE POTÈNCIA.....	57
CAPÍTOL 8: REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	59
ANNEXOS	63
A1. TAULA DE COMPATIBILITAT DE METALLS AMB METANOL.....	63
A2. FITXA TÈCNICA DE L'INJECTOR	66
A3. FITXA TÈCNICA DE LA BOMBA.....	68
A4. PROPIETATS DEL METANOL PUR.....	69
A5. EXTRACCIÓ DE PROPIETATS DE LA DISSOLUCIÓ MÉS L'AIRE (NIST)	70
A6. SOLIDWORKS I RENDERITZATS.....	71

ÍNDEX DE FIGURES

Imatge 1. Funcionament del sistema d'injecció d'aigua del BMW M4 GTS dissenyat per Bosch. [6]	19
Imatge 2. Definició gràfica de la pre-ignició [9]	24
Imatge 3. Sistema dissenyat (MW50) [Font pròpia]	28
Imatge 4. Dipòsit del sistema d'injecció proposat. [Font pròpia]	29
Imatge 5. Tap BPF460NA1 de l'empresa MOCAP [15]	29
Imatge 6. [Esquerra] Posicionament del boquet en el tanc contenidor [Font pròpia], [Dreta] Broquet [Font pròpia]	30
Imatge 7. Sensor de nivell WESMA USA SSS/SSL Water Level Sensor 11" (151338) [16]	30
Imatge 8. Relloige indicador de nivell WESMA USA Water Level Gauge (CPWR-BB-240-33) [17]	30
Imatge 9. Sensor de reserva AEM (30-3322) V2 Water/Methanol conductive level sensor [18]	31
Imatge 10. Bomba DELAVAN 5850-111 Power FLO [19]	32
Imatge 11. Quick attach fitting for 5800/5900 series (5DFA12). [20]	32
Imatge 12. Injecot KiWiTM Port Water W065-0213-1 [21]	33
Imatge 13. Controlador [Font pròpia]	34
Imatge 14. DEMAC MOT289 [22]	35
Imatge 15. Disposició del dipòsit i la bomba al malater del vehicle [23]	37
Imatge 16. Disposició final de l'injector en el conducte d'admissió [24]	38
Gràfic 1. Calor latent equivalent com a funció del percentatge de metanol present en la dissolució injectada [11]	26
Gràfic 2. ISFC (Negre) i IMEP (Vermell) per a tots els percentatges de dissolució amb el mateix temps d'encès [12]	27
Gràfic 3. ISFC (Negre) i IMEP (Vermell) per a tots els percentatges de dissolució modificant el temps d'encès [13]	27
Gràfic 4. Emissions vs riquesa de la barreja [26]	45
Gràfic 5. Temperatura d'entrada d'aire vs RPM [Font pròpia]	52
Gràfic 6. Temperatura d'entrada d'aire vs Cabal MW50 [Font pròpia]	53
Gràfic 7. Densitat vs. Temperatura per a diferents pressions (des de 1bar fins a 2,5bar) [Font pròpia NIST]	57
Gràfic 8. [Esquerra] Comparació del parell motor entregat amb gasolina 91 (verd) vs. amb el sistema d'injecció d'aigua i metanol (blau i rosa), [Dreta] Comparació de la potència motor entregada amb gasolina 91 (verd) vs. amb el sistema d'injecció d'aigua i metanol (blau i rosa) [28]	58
Diagrama 1. Funcionament del MW50 [7]	20



Diagrama 2. Esquema elèctric del sistema proposat [Font pròpia] _____ 36



ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Emissions d'un vehicle (Gremlin) de l'any 1972 operat amb gasolina, metanol, i la comparativa amb els estàndards federals de l'època. [2]	17
Taula 2. Normativa actual sobre emissions per a nous vehicles [8]	23

CAPÍTOL 0: INTRODUCCIÓ

En aquest treball de final de grau, es pretén estudiar un sistema d'injecció d'aigua i metanol, que intenta millorar els motors de combustió interna actuals. El sistema es desenvoluparà a partir d'altres sistemes coneguts del mateix sector, però introduint un nou propòsit.

Els sistemes d'injecció d'aigua i metanol són actualment sistemes destinats a la, el que es pretén en aquest treball és estendre'n l'ús entre els consumidors de vehicles i modificar-ne el regim de funcionament.

0.1 OBJECTIUS

0.1.1 OBJECTIU PRINCIPAL

L'objectiu principal d'aquest projecte és estudiar el funcionament complet d'aquests sistemes, per posteriorment, dimensionar-ne un que operi en el regim més ampli possible de funcionament del motor, i poder extreure així els beneficis del sistema durant el màxim de temps possible.

0.1.2 OBJECTIUS ESPECÍFICS

1. Estudiar la viabilitat d'un sistema que millori el funcionament dels motors tèrmics actuals. Un sistema que els faci més eficients, menys contaminants i més potents.
2. Crear un model adaptable a la gran majoria del parc automovilístic actual.
3. Dimensionar tots els components del possible sistema d'optimització.
4. Demostrar el bon funcionament del possible sistema proposat.
5. Determinar si el sistema proposat és funcional i tindria un lloc en el sector de l'automoció en un futur no molt llunyà.

CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ TEÒRICA

1.1 ANTECEDENTS

La introducció del metanol en els motors de combustió interna es va proposar durant la crisi del petroli de 1973. Va ser aleshores quan els científics T. B. Reed i R. M. Lerner, van proposar el metanol com a combustible alternatiu a la gasolina degut als elevats preus establerts pels exportadors àrabs. En l'article publicat el desembre del 1973 *"Methanol: A versatile fuel for immediate use"*, Reed i Lerner exposen els arguments per iniciar una *"Methanol economy"*[1].

Els principals arguments que aquests dos científics exposaven són els següents:

És cert que hi ha altres combustibles alternatius a la gasolina com l'hidrogen. Però també es coneix que l'hidrogen requereix de moltes modificacions en els sistemes de transport; no és una substància econòmica d'obtenir en estat pur, és difícil obtenir una alta eficiència i molt difícil d'emmagatzemar amb seguretat. Per altra banda, té l'avantatge que la seva combustió és molt neta. També exposen que, comparant-lo amb el metanol, aquest últim era sempre el combustible amb més avantatges, alguns dels quals s'exposen a continuació:

- Pot ser extret de gairebé qualsevol altre combustible, ja sigui gas natural, petroli, carbó, fusta, residus orgànics... Fet que fa que la seva producció sigui molt flexible i variant segons l'escassetat dels recursos.
- Fins a un 25% pot ser afegit a la gasolina convencional, sense necessitat de modificar els motors actuals. Aquesta barreja resulta en una reducció de costos, ja que el metanol és més barat que la gasolina, té menors temperatures dels gasos d'escapament, menys emissions i major rendiment en comparació amb el funcionament del motor amb gasolina.
- S'observava una reducció considerable en la quantitat de gasos contaminants emesos a l'atmosfera. L'emissió de CO₂ es veia reduïda en un 10%, així com la de NO_x.
- Es varen adonar que degut a l'alt índex d'octa del metanol, l'efecte conegut com a "picat de bieles" es veia reduït o fins i tot suprimit.

En aquest mateix article, s'adjunten gràfics i taules de certs experiments duts a terme els 50 anys previs a l'article, que demostren els avantatges de la incorporació del metanol en els motor de combustió interna. Una de les taules és la que es mostra a continuació, que demostra el descens en les emissions de CO₂ i NO_x d'un vehicle de 1972 operat amb metanol pur.

Taula 1. Emissions d'un vehicle (Gremlin) de l'any 1972 operat amb gasolina, metanol, i la comparativa amb els estàndards federals de l'època. [2]

COMBUSTIBLE	EMISSIONS (g/mile)		
	HIDROCARBURS NO CREMATS	CO	NO _x
GASOLINA	2.20	32.5	3.2
METANOL	0.32	3.9	0.35
ESTÀNDARDS FEDERALS	0.41	3.4	0.40

En aquest article científic també es fa referència a les desavantatges de l'ús d'aquest tipus de combustible i, principalment, segons apunten els autors, és que per aquell aleshores no n'hi havia prou de disponible.

Però el cert és que, en aquest article, els autors trobaven en el metanol un gran aliat per solucionar molts dels problemes que actualment preocupen als gegants de l'automoció, com són les emissions de gasos nocius a l'atmosfera i els baixos rendiments dels motors tèrmics, i tot i que el metanol no en sigui la solució, és un gran aliat per a millorar-lo.

1.2 ACTUALITAT

L'ús del metanol en les condicions en què es pretén utilitzar en aquest sistema ja ha estat provat. Actualment, molts vehicles de competició de certes categories ja l'empren, com ara els vehicles que competeixen a la NASCAR.

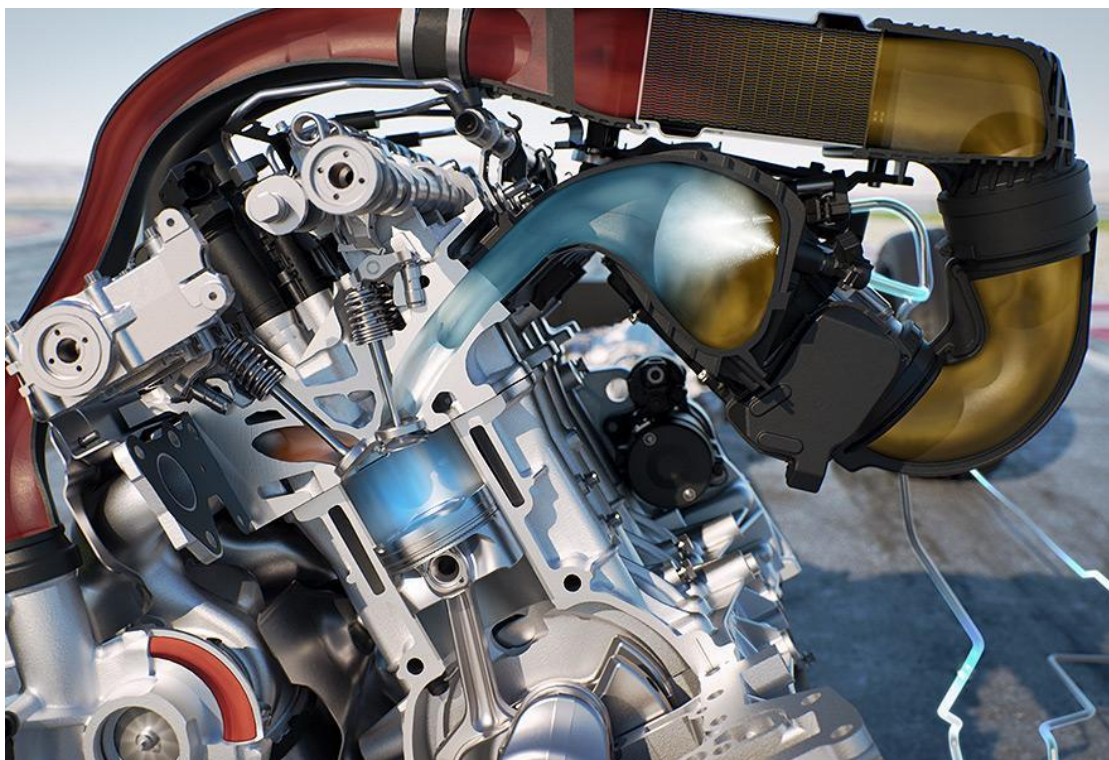
La intenció amb l'ús d'aquesta tecnologia és subministrar al motor un extra de la potència per poder sortir d'una situació en concret en moments de demanda punta, ja sigui un avançament o la sortida a l'inici de la cursa.

Adicionalment, aquest sistema, i és el que es pretén estudiar al llarg de treball, dota al motor de certes característiques molt desitjables. Augmenta considerablement la neteja de la cambra de combustió i de molts elements que componen el motor; redueix els gasos contaminants emesos a l'atmosfera, així com la temperatura d'entrada de l'aire al motor; disminueix el consum de combustible; augmenta l'eficiència del motor i, com s'ha esmentat anteriorment, la potència del mateix.

Així doncs, amb tots aquests punts a favor i molt pocs en contra, aquest sistema està molt present en gran part del sector de l'automoció, i són molts els fabricants que estan estudiant adaptar-lo als seus vehicles, ja que requereix molt poques modificacions i presenta nombrosos avantatges. Un exemple és BMW que en col·laboració amb Bosch [3], ha desenvolupat un sistema per a un dels seus models d'altres prestacions com és el BMW M4 GTS [4], vehicle que es fa servir com a *"safety car"* en el campionat de Moto GP.

Aquest vehicle està dotat d'un sistema d'injecció d'aigua que entra en funcionament en moments de demanda punta de potència com els sistemes implementats en vehicles de competició, però, en aquest cas, el fabricant ha optat per adaptar un sistema que simplement injecta aigua, en lloc de la mescla d'aigua i metanol, que té un efecte molt semblant sobre el motor, però no afecta tant les prestacions del mateix, i per tant no s'obtenen tots els beneficis del sistema aigua-metanol.

Des de fa uns anys existeixen empreses que es dediquen a desenvolupar sistemes d'injecció d'aigua i metanol per a vehicles d'altres prestacions americans [5]. Aquestes empreses produeixen sistemes d'igual funcionament que els sistemes emprats en els vehicles de competició esmentats anteriorment, és a dir, que la injecció de la dissolució es produeix de manera puntual, i no pas de manera continuada com es pretén fer en aquest projecte. Algunes d'aquestes empreses són AEM Electronics i Snow Performance. Ambdues són nord-americanes i amb un gran mercat als Estats Units, on l'ús d'aquesta tecnologia està molt present, sobre tot en el segment dels Camions i les *"Pick-Up"*.



Imatge 1. Funcionament del sistema d'injecció d'aigua del BMW M4 GTS dissenyat per Bosch. [6]

1.3 QUÈ ÉS EL MW50?

El “*Water Methanol Injection System*” consisteix en la injecció d’una dissolució d’aigua i metanol en un motor de combustió interna turbo-alimentat. El sistema és tan simple com una bomba que impulsa un cabal de dissolució, que prové d’un dipòsit extern al de la gasolina, cap a un injector que la polvoritza dintre del circuit del propi motor on es barreja amb l’aire d’admissió.

1.4 COM FUNCIONA EL MW50?

El sistema d’injecció d’aigua i metanol actua en el conducte d’admissió després de l’Intercooler. Els motors turbo-alimentats tenen la característica que treballen amb temperatures d’admissió superiors a la resta de motors, és a dir, els atmosfèrics. Aquests motors, els turbo-alimentats, tenen temperatures d’admissió d’entre 60 i 70°C, ja que al sortir del turbo, els gasos tenen una temperatura d’uns 120-130°C degut a la compressió que pateixen i a l’intercanvi de calor produït amb els gasos d’escapament que actuen sobre la turbina del turbo compressor. Aquests gasos, els d’admissió, posteriorment passen per l’intercooler on es refreden fins als 60-70°C esmentats anteriorment.

El principi de funcionament d’aquest sistema, del MW50, es basa en la transferència de calor entre fluids, i en aquest cas, l’elevat calor latent de l’aigua, fa que l’intercanvi sigui molt gran, ja que és una de les substàncies amb més poder d’absorció de calor. D’altre banda, una de les funcions del metanol es la esmentada anteriorment per l’aigua. El calor latent d’aquest no es tant elevat com el de l’aigua però també té una capacitat d’absorció de calor elevada. Cal dir que la temperatura de vaporització del metanol és molt més baixa que la de l’aigua, fet que ajuda molt a aquest intercanvi de calor, ja que la transferència de calor es produeix durant el canvi de fase dels fluids.

El sistema MW50, doncs, injecta una dissolució gairebé 50-50 d'aigua amb metanol (50% de Metanol, 49.5% d'Aigua i el 0.5% restant és un Oli de protecció) que el que fa es reduir aquestes temperatures, entre d'altres propietats de les que dota al motor i que es comentaran més endavant.

Aquest sistema està compost per 4 elements principals, que són els següents: Dipòsit, Bomba, Injector i Controlador.

- **Dipòsit:** És un tanc d'emmagatzematge. En ell s'hi troba la dissolució per posteriorment ser injectada en el motor. Aquest ha de ser prou gran com per garantir una quantitat de kilòmetres determinada segons el consum de dissolució de cada motor. El dipòsit està dotat de dos sensors: Un tipus boia, i un altre indicador de reserva.
- **Bomba:** És l'encarregada de portar el fluid des del dipòsit fins a l'injector que serà qui finalment subministri el cabal requerit al motor.
- **Injectors:** És la part més important del sistema, ja que cal que injecti la dissolució de manera molt atomitzada per tal que aquest sistema funcioni adequadament.
- **Controlador:** És l'aparell encarregat de regular el funcionament tant de la bomba com de l'injector, i de transmetre el missatge a cada un d'ells de quan injectar o bombejar, i per tant és el "cervell" del sistema.

Al diagrama que es mostra a continuació, es pot observar la disposició dels elements que conformen així com un gradient de temperatures, representat per colors, a mida que els fluids avancen per les corresponents etapes del sistema.



Diagrama 1. Funcionament del MW50 [7]

1.5 PER A QUÉ SERVEIX EL MW50?

La incorporació d'aquest sistema als motors de combustió interna turbo-alimentats presenta molts avantatges, i tots ells tenen com a principal objectiu optimitzar i millorar el funcionament del motor de combustió interna turbo-alimentats. És cert, que com tot, presenta desavantatges que també s'exposaran a continuació.

1.5.1 PROS I CONTRES

1. Augment de la neteja de la Cambra de Combustió

Com s'ha comentat amb anterioritat, el sistema proposat es basa en l'evaporació d'una dissolució 50/50 d'aigua amb metanol, en el procés d'admissió d'aire al motor.

Aquesta dissolució s'injecta a altes pressions per provocar que es polvoritzi en partícules molt petites. D'aquesta manera s'aconsegueix que la superfície de contacte entre la dissolució i l'aire sigui molt gran i en conseqüència, la transferència de calor es produirà més ràpidament. Al ser injectada a altes pressions (mínim a 3,5 bar), s'evapora amb molta facilitat al entrar en contacte amb l'aire d'admissió, ja que tant l'aigua com el metanol tenen molta facilitat per absorbir calor de l'ambient. Si s'afegeix aquest fet, al comentari fet anteriorment sobre la temperatura després de l'intercooler d'un motor turbo alimentat, que és d'uns 60-70°C, es conclou que aquest fluid s'evaporarà amb molta facilitat.

Per contra, l'estona que estan en contacte, aire i dissolució, és breu, i per tant, no s'aconseguirà evaporar del tota la dissolució, i part de la barreja entrarà en estat líquid dins la cambra de combustió.

Aquest fet pot semblar en un inici un problema perquè el poder oxidant de l'aigua és elevat. Però el cert és que gràcies a l'estat en el que es troba l'aigua, que cal dir que és gairebé aigua atomitzada, s'aconsegueix que quan aquesta s'evapora en la cambra de combustió i es transformi en vapor, degut a l'augment de temperatura produït durant la combustió, mantingui els elements que es troben en contacte amb la cambra de combustió, i que per tant formen part, o són responsables del funcionament del motor, més nets.

2. Reducció de la Temperatura de l'aire d'admissió

Una de les característiques de l'aigua és el seu calor latent, i per tant la facilitat de la mateixa per a absorbir calor de l'entorn, o en aquest cas de l'aire d'admissió que entrarà posteriorment a la cambra de combustió.

En concret, la propietat que s'ha estudiat per analitzar la influència d'aquest fluid en el sistema, és la calor latent de vaporització. Que es defineix com la quantitat d'energia que cal aportar a una substància en estat líquid per transformar-la a gas.

En el cas del sistema proposat en aquest treball, la dissolució d'aigua i metanol s'injectaria a una pressió aproximada d'uns 4 bar i temperatura ambient, i entraria en contacte amb un fluid a una temperatura d'uns 60-65°C aproximadament, en aquestes condicions, la calor latent d'evaporació de l'aigua, és de 2546,5 KJ/Kg. De la mateixa manera, el metanol també afecta en la temperatura dels fluids d'admissió, tot i que en menor mesura, ja que també és un gran extractor de calor i energia però, amb una calor latent d'evaporació en les mateixes condicions

de 1063,4 KJ/Kg. Per si no fos poc, el metanol té una temperatura d'ebullició de 64,7 °C. que és, òbviament, inferior a la de l'aigua i per tant requerirà menys energia per provocar la transferència de calor.

Per quin motiu aquest fet és un avantatge? Pel fet que a mida que es disminueix la temperatura dels gasos d'admissió, la densitat dels mateixos augmenta i per tant s'aconsegueix introduir més oxigen a la cambra de combustió, fet que permet cremar més combustible. L'altre part positiva és què, com la temperatura dels gasos d'admissió es més baixa, el gradient de temperatura durant la combustió pot ser més elevat, i per tant, es generaria més energia per cada cicle.

3. Augment de l'índex d'Octà del combustible

Aquest fet s'aconsegueix gràcies a la presencia del Metanol en la dissolució MW50.

L'índex d'octà és una mida que serveix per avaluar la pressió i la temperatura a la que pot ser sotmès un combustible barrejat amb aire abans d'auto-detonar per haver arribat a la seva temperatura d'ignició. Com més gran és l'índex d'octà, més grans són les temperatures i pressions que pot suportar el combustible abans d'auto-detonar.

El metanol és un alcohol, i per tant el seu índex d'octa es superior al de les gasolines que es comercialitzen, amb un valor de 108,7 octans. Els índex d'octà de les gasolines van des dels 87 octans a EEUU, fins a 98 que és el màxim que obtenim a les benzineres del nostre país.

El fet d'incorporar aquest alcohol fa que l'índex d'octà del combustible, en aquest cas gasolina més metanol, sigui superior al de la gasolina com a combustible únic.

Amb aquest augment s'aconsegueixen altres avantatges com: Augment de potència i augment de la eficiència tèrmica.

4. Augment de Potència

Com s'apunta en el segon punt d'aquest apartat, la disminució de temperatura és tradueix en un augment de la densitat de l'aire, i per tant més quantitat d'oxigen entra a la cambra de combustió.

El fet de tenir més oxigen en la cambra de combustió, permet cremar més combustible, cosa que es tradueix en un augment de potència considerable del motor.

5. Disminució del consum de combustible

En l'actualitat els vehicles, són capaços de detectar el tipo de combustible que esta rebent a la cambra de combustió. Aquest fet, fa que quan el vehicle detecta que esta rebent gasolina amb metanol, injecti menor quantitat de gasolina, reduint així el consum de combustible.

6. Reducció de gasos contaminants

La contaminació provocada per els gasos que allibera un motor de combustió és un tema de importància mundial, que es tracta diàriament per els governs i les grans institucions del món. Les emissions produïdes per els motors de combustió del vehicles que circulen per les carreteres de tot el món comporten aproximadament el 13% de la contaminació mundial total, per això és un tema al qual se li dona tanta importància. De fet, s'ha arribat a un punt on hi ha unes

normatives molt estrictes per tots els fabricants d'automòbils per limitar les emissions de tots els nous vehicles.

Les emissions de CO₂ permeses per a nous vehicles comercialitzats a Europa són de 120 g/Km

Taula 2. Normativa actual sobre emissions per a nous vehicles [8]

		Masa de referencia (MR) (kg)	Valores limite de la norma Euro 6											
			Masa de monóxido de carbono (CO)		Masa total de hidrocarburos (HCT)		Masa de hidrocarburos no metanos (HCNM)		Masa de óxidos de nitrógeno (NOx)		Masa combinada total de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno totales (HCT + NOx)		Masa de partículas (MP)	
			L ₁ (mg/km)		L ₂ (mg/km)		L ₃ (mg/km)		L ₄ (mg/km)		L ₂ + L ₄ (mg/km)		L ₅ (mg/km)	
Categoría	Clase		PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI	CI	PI(²)	CI
M	—	Todos	1000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5,0	5,0
N ₁	I	MR ≤ 1305	1000	500	100	—	68	—	60	180	—	230	5,0	5,0
	II	1305 < MR ≤ 1760	1810	630	130	—	90	—	75	235	—	295	5,0	5,0
	III	1760 < MR	2270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5,0	5,0
N ₂			2270	740	160	—	108	—	82	280	—	350	5,0	5,0

Un motor de combustió interna d'engegat provocat, és a dir, de gasolina, el que fa és cremar principalment octà amb aire provinent de l'atmosfera. Aquesta combustió genera nitrogen (N₂), aigua (H₂O), diòxid de carboni (CO₂) i una quantitat molt petita d'altres gasos com són el monòxid de carboni (CO), hidrocarburs (HC) i òxids de nitrogen (NOx). Com es pot apreciar a la taula anterior les emissions de de CO₂ són d'una magnitud força superior a les de la resta de gasos.

El metanol presenta una gran avantatge respecte la gasolina en quan a emissions es refereix. Aquest, al ser un hidròxid, esdevé una combustió molt més neta que la gasolina, generant, bàsicament, aigua i diòxid de carboni. I no només això, sinó que la quantitat de CO₂ que genera es notablement inferior a la de l'octà (pràcticament una tercera part).

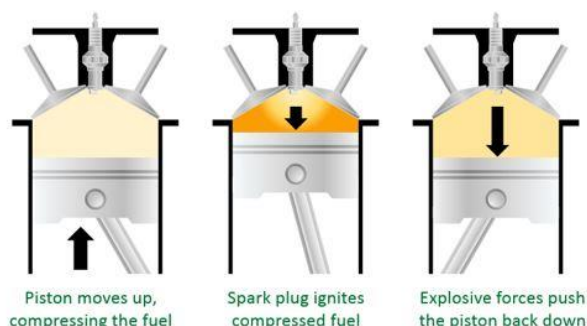
7. Reducció/Supressió de l'efecte conegut com a "Pre-Ignition" i "Detonation"

No només s'aconsegueixen reduir aquests fenòmens, sinó també la seva conseqüència, coneguda com "knocking effect" o "picat de bieles".

Abans d'entrar a explicar quina és la causa que fa que aquests efectes desapareguin, o es vegin reduïts notablement, cal explicar-los.

Pre-Ignition: És la combustió prematura de part de la mescla al entrar a la cambra de combustió, degut a les altes temperatures assolides en la mateixa, i que no permet una bona crema de la mescla, i per tant disminueix molt el rendiment del motor tèrmic en qüestió i pot portar greus conseqüències per al mateix.

Normal Combustion



Low-Speed Pre-Ignition



Imatge 2. Definició gràfica de la pre-ignició [9]

Detonation: Sense ser el mateix que la Ignició prematura de la mescla, és un fet molt semblant. En aquest cas, no és part de la mescla la que crema prematurament, sinó la totalitat de la mateixa, fet que indueix al motor a un funcionament molt brusc, i molt poc eficient, on el pistó treballa forçat, trobant-se amb una força totalment oposada en el moment d'intentar arribar al PMS, i fent que el mateix treballi a "cops" i no amb la suavitat que hauria. Com en la "*pre-ignition*", aquest mal funcionament, pot portar a problemes molt seriosos.

Knocking Effect: És la principal conseqüència dels dos efectes esmentats anteriorment. Al no assolir el PMS amb comoditat, el pistó està sotmès a forces contràries al seu moviment, i se li fa molt més difícil, arribar per inèrcia al punt més alt de la carrera, de tal manera que la biela que uneix el cap del pistó amb el cigonyal, està sotmesa a esforços de compressió i pot acabar deformant-se, o trencant. Averia molt costosa i de llarga reparació.

Un cop coneguts aquest tres "enemics", que van l'un de la mà de l'altre, com ajuda el sistema proposat a reduir-los?

Com s'ha esmentat anteriorment, el sistema proposat redueix les temperatures d'entrada dels gasos d'admissió, cosa que farà que quan els mateixos es barregin amb el combustible, i posteriorment es comprimeixin, no tinguin temperatures elevades, que juntament amb la pressió posterior a la compressió, faria que tinguessin tendència a explotar o cremar prematurament. D'aquesta manera, amb l'aportació d'una de les substàncies de la dissolució, en aquest cas l'aigua, s'obté una gran millora en la reducció d'aquest efecte.

Per altre banda, l'augment de l'índex d'octà, proporcionat en aquest cas per el Metanol, reduirà molt la presència d'aquests efectes en el motor. Tal i com es diu en el punt 3 d'aquest apartat: L'índex d'octà és un indicador que permet conèixer quan es pot comprimir i escalfar un gas abans que aquest entri en auto-detonació. Per tant, si s'augmenta l'índex d'octà del combustible, aquest serà capaç d'admetre més compressió abans de produir-se la guspira, i per tant serà més difícil que el mateix cremi prematurament, o de manera sobtada, fent així que el motor treballi de manera més eficient.

8. Sistema amb elements difícils de detectar-ne averies

És un sistema compost per controladors, injectors i altres components electrònics i elèctrics que, en cas d'averia, és difícil detectar-la, cosa que podria propiciar un mal funcionament del sistema, i ja no només del sistema, sinó del mateix motor.

9. El Metanol és un alcohol molt corrosiu amb l'Alumini

Com la gran majoria dels alcohols, el Metanol és altament nociu per a gran part dels metalls i aliatges.

De totes maneres, el Metanol és un alcohol compatible amb una dotzena de metalls, tal i com es pot apreciar a la taula 1 de l'annex A1.

El Metanol, així com gran part dels alcohols, quan es crema, genera ions d'àcids que poden malmetre certs components del motor.

Aquest alcohol és altament corrosiu, ja no només per la presència d'aquests ions quan és cremat, sinó per la seva alta conductivitat elèctrica, fet que promou la corrosió elèctrica i galvànica.

Així doncs, com es mostra a la taula 1 de l'annex A1, l'alumini, és un metall al que no es recomana exposar a metanol pur.

Els motors estan fet majoritàriament d'alumini. Aquest fet pot semblar un gran problema, ja que si existeix corrosió en el bloc motor o en la culata, els danys que això pot generar al motor, o l'accident que pot causar, pot ser de grans magnituds. Però el cert és que no ha d'existir aquesta preocupació, ja que els blocs motors actuals estan compostos de no només el bloc com a tal, sinó amb camises de pistó fetes d'acer amb recobriment de coure que fa que no només existeixi menor força de fregament entre camisa i pistó, sinó que sistemes com el d'injecció d'aigua amb metanol siguin possibles.

Resumint, si el motor no té pèrdues ni desperfectes, el metanol no hauria de causar cap tipus de problema de corrosió, ja que aquest no estarà en contacte directe amb cap component d'alumini.

1.6 PERQUÈ H₂O AMB METHANOL?

Existeixen molts estudis sobre quina és la quantitat òptima de cada una de les substàncies, per tal d'obtenir les millors prestacions i, per tant, treure el màxim rendiment d'aquest sistema d'alimentació complementari.

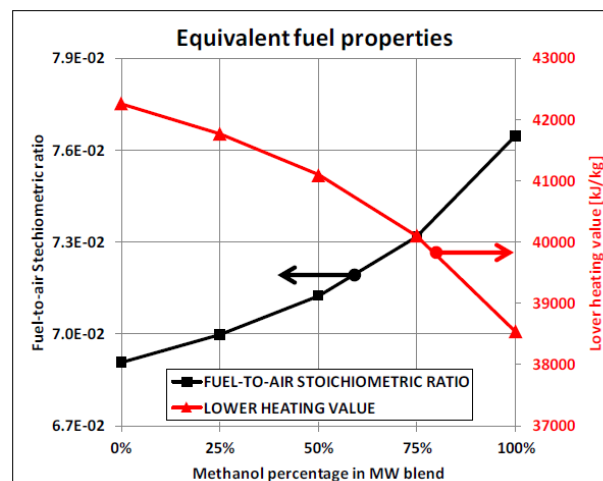
Les dades que s'exposen en aquest apartat, són dades extretes d'un d'aquests estudis als que es fa referència amb anterioritat. En concret de l'estudi dut a terme a la *Università di Modena e Reggio Emilia* per part del Departament d'Enginyeria "Enzo Ferrari", a mans de S. Breda, et al., F. Berni, A. D'Adamo, F. Testa, E. Severi i G. Cantore. Article titulat: "*Effects on knock intensity and specific fuel consumption of port water/methanol injection in turbocharged GDI engine: Comparative analysis*" [10].

Són molts els punts que s'estudien sobre aquest tipus de sistemes al llarg d'aquest paper. Però n'hi ha un en concret que és molt interessant i que fa referència al punt que ara ens interessa. Quina es la millor dissolució a emprar en aquest tipus de sistemes?

Al llarg de l'estudi es comparen les propietats de les següents dissolucions: Aigua pura, metanol pur, i la barreja de les dues en percentatges del 25, 50 i 75% de metanol.

L'experiment de l'estudi en qüestió es va dur a terme amb un motor V8, i en les mateixes condicions de la proposta de sistema realitzada per aquest grup: Injecció directa monopunt en el conducte d'admissió del motor.

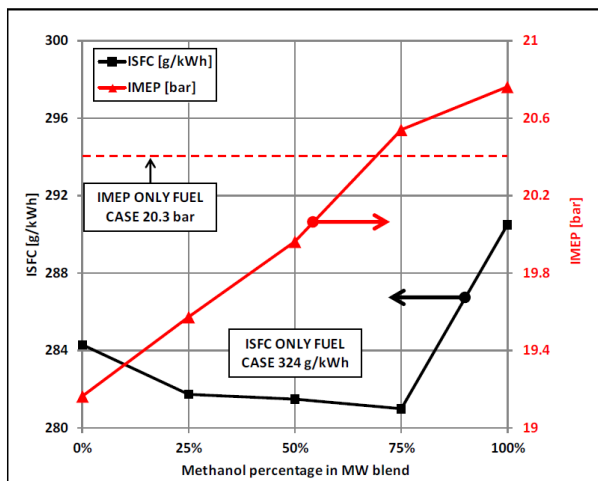
Al realitzar l'experiment, s'observa que a mida que la quantitat de metanol augmenta, la capacitat de la dissolució d'absorbir calor de l'aire comprimit de l'admissió disminueix, aquest fet, és degut a la diferència de calor latent d'evaporació de l'aigua i el metanol, que tot i ser petita, es nota com es pot observar en el següent gràfic:



Gràfic 1. Calor latent equivalent com a funció del percentatge de metanol present en la dissolució injectada [11]

Per altre banda, un altre tema de discussió són el consum específic de combustible, l'anomenat ISFC (*Indicated Specific Fuel Consumption*) i la pressió efectiva, coneguda com IMEP (*Indicated Mean Effective Pressure*).

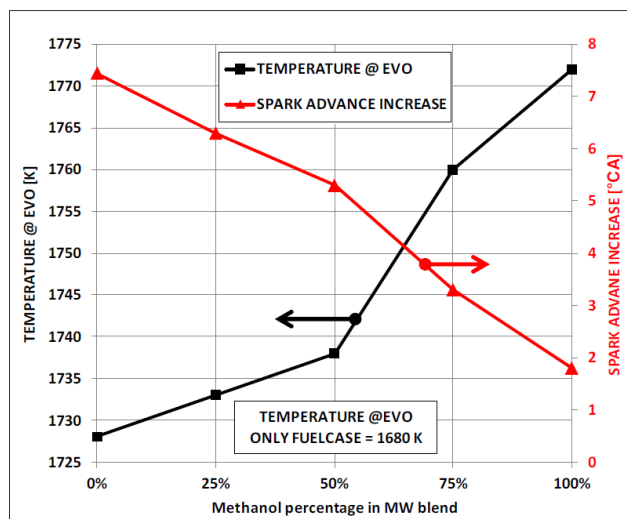
Al realitzar l'experiment, els autors varen observar, que a un mateix encès de bugia, una millora del 10% en el consum específic de combustible era el que s'obtenia amb totes les dissolucions d'aigua i metanol. Com en gairebé tots els punts estudiats, el cas més desfavorable és el del metanol pur, ja que per assolir la mateixa capacitat d'absorció de calor, la quantitat requerida és molt superior, aquesta és la raó principal per la qual, tot i tenir un augment en el valor d'IMEP, el valor del ISFC també és superior, tal i com es mostra al següent gràfic:



Gràfic 2. ISFC (Negre) i IMEP (Vermell) per a tots els percentatges de dissolució amb el mateix temps d'encès [12]

La resistència a l'auto-ignició del metanol és una característica molt atractiva a l'hora de tenir-lo en compte per a aquesta aplicació. Així doncs, tal i com es comenta en el paper, qualsevol de les dissolucions d'aigua i metanol tindrà una resistència a l'auto-ignició molt superior a la de la gasolina sola.

Així doncs, es pot concloure que: és evident, que tal i com es mostra al gràfic 3, que s'exposa a continuació, el cas estudiat amb aigua és el que té un ISFC menor, i el de metanol pur es de major ISFC. Per altre banda, els valors d'IMEP per a tots els cassos es veuen reduïts en un 4%, mentre que els de l'ISFC varien segons la dissolució, essent el més favorable el d'aigua pura, obtenint una reducció del 20% quan s'adapta el temps d'encès de la bugia per a cada un dels casos. Segons l'estudiat, sembla que la millor proposta és l'ús de dissolucions d'aigua i metanol amb baixa concentració de metanol, és a dir MW25 o bé MW50 ja que són les que es comporten millor a baixes revolucions gràcies a la facilitat d'evaporació.

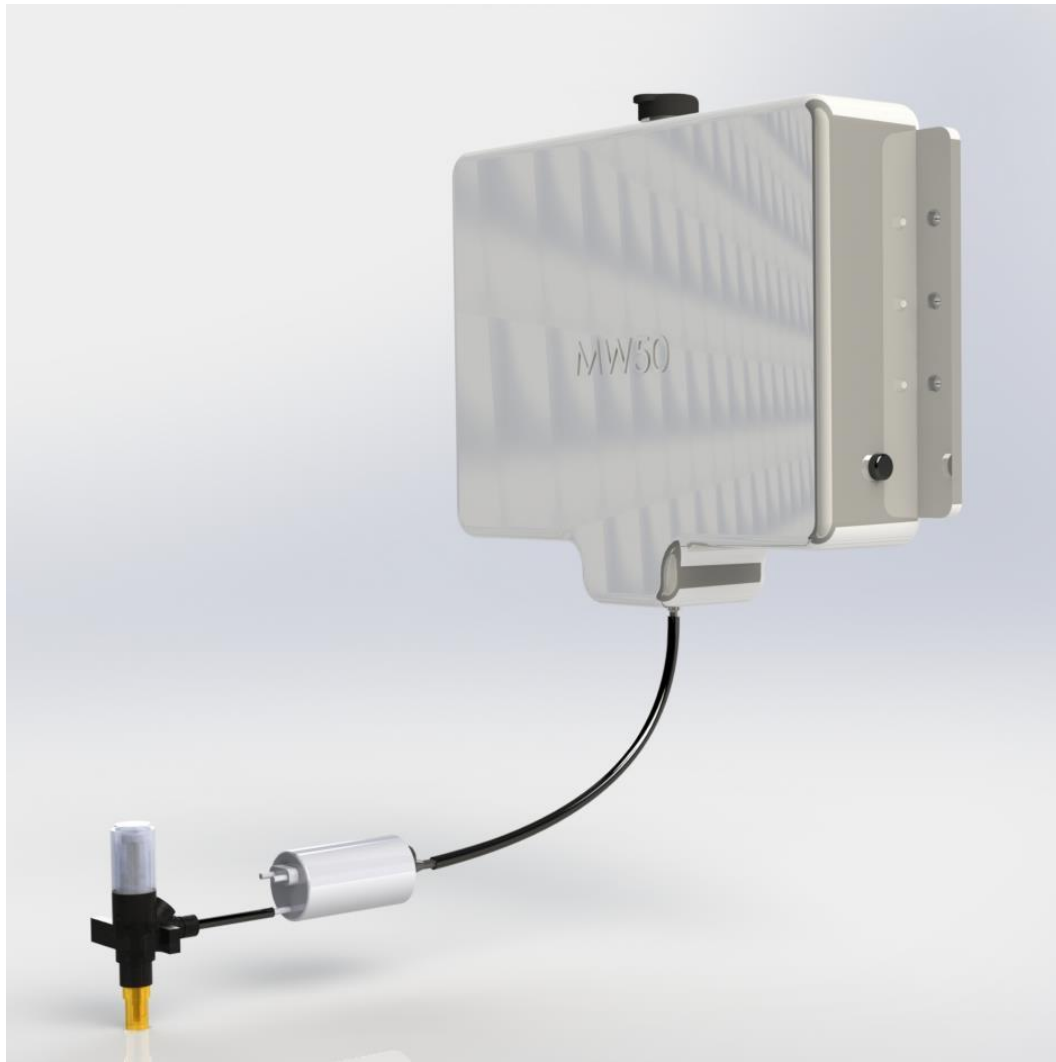


Gràfic 3. ISFC (Negre) i IMEP (Vermell) per a tots els percentatges de dissolució modificant el temps d'encès [13]

CAPÍTOL 2: DISSENY DEL SISTEMA

En aquest capítol s'expliquen tots els components del sistema proposat, així com l'element seleccionat per a cada cas, i el procés de fabricació escollit per a cada un dels elements de fabricació pròpia.

En la imatge que es mostra a continuació es presenta el sistema proposat en aquest projecte.



Imatge 3. Sistema dissenyat (MW50) [Font pròpia]

Tots els valors als que es fan referència en aquest capítol del projecte estan calculats i explicats en l'apartat de càlculs del treball: Capítol 4: Càlculs del sistema.

2.1 DIPÒSIT

El disseny d'aquesta part del sistema està condicionat per l'autonomia requerida del sistema. Tal i com s'exposa a l'apartat de càlculs, el consum de dissolució és de 1 litre per cada 6 de gasolina. Per tant, suposant un vehicle amb un consum de 8l/100km, i amb un dipòsit de gasolina de 60 litres [14], per tal que el sistema pogués funcionar sense necessitat de parar a omplir el dipòsit d'aigua i metanol, la capacitat del mateix hauria de ser d'uns 10 litres aproximadament.

El material del que està compost l'element principal del dipòsit, el tanc contenidor, és Polietilè d'alta densitat. A la imatge següent es mostra el disseny del dipòsit proposat.



Imatge 4. Dipòsit del sistema d'injecció proposat. [Font pròpia]

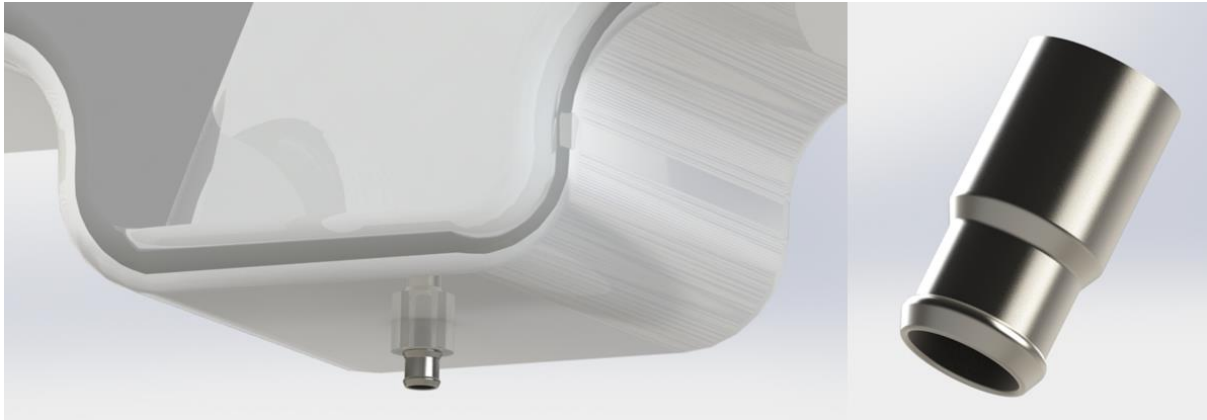
Aquest dipòsit, a part del tanc contenidor de la dissolució està dotat de: Un tap, dos sensors (un de nivell, i un de reserva) i un broquet.

El tap és l'encarregat d'evitar vessaments en cas que el dipòsit es tombi, tot i estar collat a la carrosseria del cotxe. Aquest tap està compost de Polietilè de baixa densitat, fet que en facilita l'extracció en el moment d'omplir el tanc, i té una llengüeta per facilitar-ne encara més el procediment. Al centre del tap, hi ha un forat per evitar que a mida que es va buidant el tanc es faci el buit dins el mateix. Aquest element és subministrat per una empresa especialitzada, MOCAP, i el model escollit és: BPF460NA1.



Imatge 5. Tap BPF460NA1 de l'empresa MOCAP [15]

El broquet de la part inferior del tanc, així com el tanc contenidor, són elements que cal fabricar a mida per al sistema proposat. El broquet, d'acer inoxidable, és l'encarregat d'assegurar una correcta unió entre el tub que porta el fluid a la bomba i el dipòsit, evitant pèrdues de fluid.



Imatge 6. [Esquerra] Posicionament del boquet en el tanc contenidor [Font pròpia], [Dreta] Broquet [Font pròpia]

Els sensors, per altre banda, són elements normalitzats que seran agafats de fabricants d'aquest tipus de components.

S'ha decidit que el sensor de nivell sigui WESMA USA SSS/SSL Water Level Sensor 11" (151338) un model que s'adapta perfectament a les necessitats que es busquen en aquest sistema, pel que fa a controlador de nivell per flotació. Aquest element anirà connectat a un rellotge indicador, que permetrà a l'usuari consultar el nivell del dipòsit per tal d'assegurar que el sistema tingui fluid suficient per funcionar correctament. El rellotge seleccionat és el següent: WESMA USA Water Level Gauge (CPWR-BB-240-33).



Imatge 7. Sensor de nivell WESMA USA SSS/SSL Water Level Sensor 11" (151338) [16]



Imatge 8. Rellotge indicador de nivell WESMA USA Water Level Gauge (CPWR-BB-240-33) [17]

El sensor de reserva, per altre banda, és un sensor que indica quan el dipòsit es troba gairebé buit i requereix de més fluid per que el sistema pugui seguir funcionant, aquest sensor s'ha determinat que sigui el AEM (30-3322) V2 Water/Methanol Conductive Level Sensor que com l'anterior, compleix amb tots els requeriments per adaptar-se al sistema proposat en aquest projecte.



Imatge 9. Sensor de reserva AEM (30-3322) V2 Water/Methanol conductive level sensor [18]

2.1.1 PROCÉS DE FABRICACIÓ DELS ELEMENTS FABRICATS

Per la fabricació del tanc de combustible, fet de Polietilè d'alta densitat, s'ha optat per un procés de fabricació d'injecció de plàstic, ja que és un procés de fabricació ràpid, barat i que dota al dipòsit de les prestacions requerides, que no són molt elevades.

El que si és important a l'hora de fabricar dipòsits per posteriorment instal·lar-los en vehicles, és garantir que en cas d'accident, el fluid contingut dintre d'aquest no surti del contenidor causant així accidents més greus o intoxicacions.

Per altre banda, el broquet és fabrica d'acer inoxidable, i mitjançant un procés de tornejat per control numèric, procés que en permet la fabricació a un cost molt baix i amb prestacions adequades per els requeriments de la peça en qüestió.

Els acabats per a les dues peces no són de gran importància, tot i que, el broquet es fabricarà amb una IT9 corresponent a un tornejat de semiacabat. Per aquest motiu no cal dur a terme un segon procés per tal de millorar-ne la rugositat superficial.

2.2 BOMBA

La bomba és un dels elements més importants del sistema, juntament amb l'injector. Aquesta bomba, és un element del sistema que s'agafarà del catàleg d'un fabricant especialitzat en bombes rotatives d'aigua de corrent continu.

Aquest element ha de ser capaç de bombejar el fluid fins a l'injector a una pressió mínima de 50 psi (3,44 bar) per tal que el sistema pugui subministrar la quantitat necessària de fluid, i en les condicions que es requereixen en cada moment, segons la demanda del motor.

Així doncs, la bomba que compleix amb aquests requeriments és la següent: DELAVAN 5850-111 Power FLO.



Imatge 10. Bomba DELAVAN 5850-111 Power FLO [19]

Per tal de facilitar la unió de la bomba amb els tubs de fluid, s'incorporaràn a la mateixa dos adaptadors de la mateixa marca, DELAVAN: Quick Attach Fittings for 5800/5900 series (5DFA12).



Imatge 11. Quick attach fitting for 5800/5900 series (5DFA12). [20]

2.3 INJECTOR

És l'encarregat de dotar al fluid de l'estat atomitzat requerit per tal que existeixi el procés de refredament de l'aire d'admissió. Aquest element és probablement el més important del sistema, ja que si el seu funcionament no és el correcte, i no injecta la dissolució prou atomitzada o injecta un cabal inadequat, pot malmetre el motor, a causa de l'entrada d'un excés de fluid en estat líquid. Així doncs, aquest l'injector, està format per dos elements: El cos d'Injecció, i el que es coneix com a "Nozzle" o broquet.

Aquest element, és un element escollit d'un catàleg de fabricant especialitzat, i ha de ser capaç d'injectar el fluid a un cabal màxim de 201,067 ml/min a un règim de treball màxim del motor de 7000 rpm. L'injector escollit que compleix amb aquestes característiques és: KiWiTM Port Water W065-0213-1.



Imatge 12. Injecot KiWiTM Port Water W065-0213-1 [21]

Per altre banda, el "Nozzle" ha de ser capaç d'atomitzar el fluid, de tal manera que l'intercanvi de calor sigui màxim i el més ràpid possible. Per aquest motiu la tria d'aquest injector, s'ha agafat d'un fabricant expert en el sector, i en aquest cas, el mateix injector actua de "Nozzle".

2.4 CONTROLADOR

Aquest element és el responsable d'informar a cada component del sistema quan i com actuar. És un element de difícil programació i d'alta complexitat, així que la programació del mateix serà encarregada a una empresa especialitzada. Així doncs es limitarà a explicar el funcionament del controlador i com actuaria.

El funcionament normal d'aquest component es basa en subministrar el corrent necessari a l'injector per tal que aquest injecti just en el moment i durant el temps necessari, és l'encarregat de recollir les dades proporcionades per tots els sensors i determinar la quantitat de fluid que cal injectar, regulant la pressió de bombeig de la bomba de fluid.

Aquest controlador està compost per dues rodets reguladores, que permeten regular la pressió d'inici d'injecció, i la pressió a la que l'injector treballarà a ple rendiment. Per altre banda, està equipat amb un LED que permet a l'usuari saber quan el sistema està operatiu i un altre que indicarà quan el sistema està injectant dissolució al conducte d'admissió. A continuació es mostra el disseny en el que s'ha pensat per aquest element del sistema:



Imatge 13. Controlador [Font pròpia]

L'activació del sistema d'injecció, s'ha de realitzar a través d'un interruptor que es situarà allà on el pilot del vehicle li sembli més accessible. A l'hora d'activar l'interruptor, el controlador rep corrent elèctrica i comença el funcionament del sistema.

L'operativa del sistema en estat normal, és la d'injectar fluid al conducte d'admissió d'aire quan la pressió detectada pel sensor de pressió posterior al turbo sigui la establerta per l'usuari en la rodeta "Start". El sistema seguirà injectant a mida que el motor vagi funcionant i si no detecta cap averia en els sistema.

Per altre banda, el controlador és també l'encarregat d'aturar el sistema si en algun moment està actuant de manera errònia o inadequada. És possible que en algun moment el sistema falli per motius aliens al seu muntatge, ja sigui per falsos contactes, averies de components... El cert és que el controlador ha de tenir una connexió a la centraleta del vehicle que sigui capaç d'aturar el sistema en qualsevol moment, el que es coneix com a "Boost safe". Aquest "Boost safe", és el que ens permetrà que en cas de mal funcionament del motor la ECU del vehicle desconnectarà el sistema, i passarà al mapa motor convencional, on el sistema d'injecció MW50 no intervé.

Un altre sistema de prevenció d'averies, és el sensor de reserva del que està dotat el dipòsit, i que indicarà al controlador que el nivell de fluid és baix, fent que el mateix actuï aturant el sistema per evitar mals funcionaments de la bomba i una possible averia de la mateixa.

Per altre banda en l'inici del funcionament del motor, quan el mateix està fred, el sistema romandrà inactiu fins que el sensor de temperatura del motor detecti una temperatura de funcionament òptima, serà en aquell moment quan el sistema entri en funcionament, i el controlador reguli tots els components del mateix per garantir-ne un correcte funcionament. D'aquesta manera, s'evita una posta en marxa del motor en fred, i es facilita l'arribada del motor a la temperatura de treball el més aviat possible. Injectar el fluid amb el motor fred, podria causar que gran part de l'aigua injectada arribi al motor en estat líquid, fet que podria provocar problemes per la combustió.

2.5 CONDUCTES DE FLUID

Aquests elements són els encarregats de portar el fluid, tant del dipòsit a la bomba, com de la bomba a l'injector. El diàmetre interior dels mateixos és de 5 mm, i s'ha optat per que el material del que estan compostos sigui Silicona.

Així doncs, els conductes sortiran de tallar a la mida necessària, segons el vehicle on s'adapti el sistema, la bobina: DEMAC MOT289.



Imatge 14. DEMAC MOT289 [22]

2.6 CONNEXIÓ A L'ECU DEL VEHÍCLE

Aquesta part del sistema és molt important, ja que, és l'encarregada de garantir el correcte funcionament de tots els components, i en cas que aquests no estiguin realitzant les seves funcions de la manera que s'espera, aquests elements siguin qui en subministri la informació corresponent, i permeti intervenir per solucionar els possibles problemes presents.

Tots els elements als que es pot fer referència en aquest apartat (senyors de pressió, temperatura, cabal d'aire d'entrada...) van connectats a la centraleta, i és la mateixa qui en regula i gestiona la informació, per aquest motiu és imprescindible que el controlador del sistema proposat, tingui aquesta informació per tal de garantir un correcte funcionament del mateix. Aquesta transmissió d'informació, es duu a terme pel cable al que s'ha fet referència anteriorment anomenat "*Boost Safe*".

2.7 SISTEMA ELECTRIC

A la imatge que es presenta a continuació (Diagrama 2) es pot observar l'esquema electric del sistema d'injecció d'aigua i metanol.

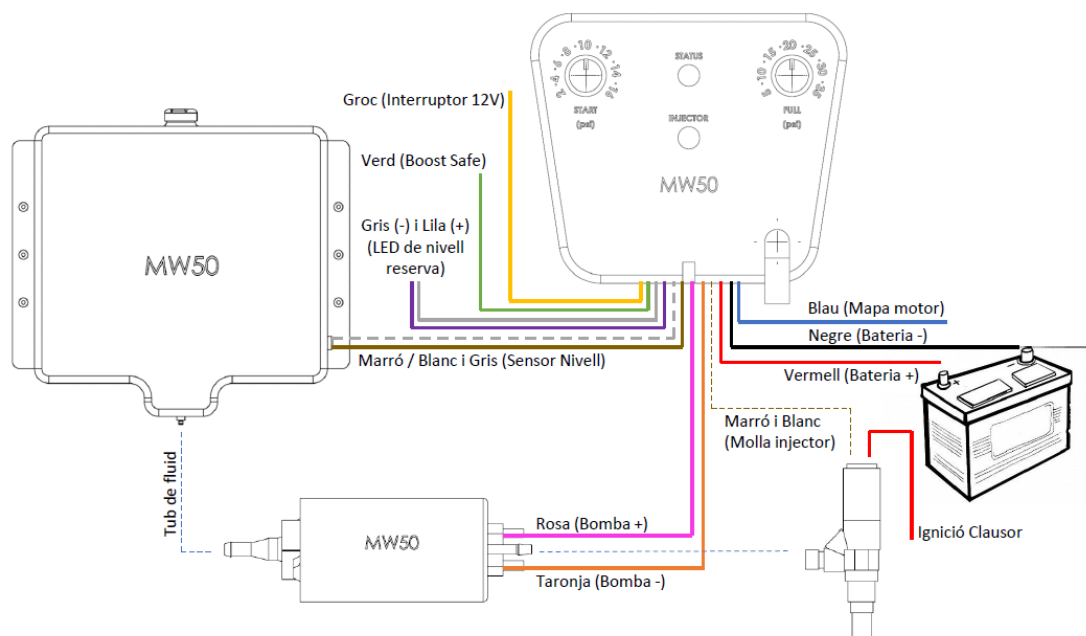


Diagrama 2. Esquema elèctric del sistema proposat [Font pròpia]

CAPÍTOL 3: INSTAL·LACIÓ I MANTENIMENT

3.1 INSTAL·LACIÓ

En aquest apartat s'explica el procés d'instal·lació dels components del sistema proposat al vehicle en qüestió i s'esmenten certes consideracions a tenir en compte a l'hora d'instal·lar-lo.

És un procés d'instal·lació de complexitat mitja, ja que requereix d'instal·lació elèctrica, i del desmuntatge de certes peces del motor, fet que comporta nocions bàsiques de mecànica. Així doncs, els passos a seguir per instal·lar el sistema a qualsevol vehicle és el següent:

PAS 1: Buscar la ubicació del dipòsit de fluid on es desitja instal·lar-lo, seguidament, connectar el tub que va del broquet del dipòsit a la bomba. És molt important que la ubicació del dipòsit sigui a una alçada similar, però per sobre, a la del punt on s'injectarà la dissolució, i que el dipòsit es trobi en posició vertical. També cal pensar en que estigui a un lloc accessible per tal que el fet d'omplir-lo sigui fàcil i pràctic. Tenint en compte tots aquests factors, la ubicació perfecte és el maleter. La fixació del dipòsit requereix o bé de forats al xassís del vehicle, o bé de l'elaboració d'un element de fixació propi en forma de "L". La fixació del dipòsit, ja sigui al xassís directament, o bé sobre els suports fabricats, va fixat amb 4 cargols M5.



Imatge 15. Disposició del dipòsit i la bomba al malater del vehicle [23]

PAS 2: El següent pas és la fixació de la bomba en un punt proper al dipòsit, i per sota el nivell del broquet de sortida del fluid. És important que es trobi a un punt inferior al dipòsit i no gaire llunyà per garantir que li arriba fluid en el moment d'iniciar el bombeig, ja que el bombeig d'aire faria malbé la bomba ocasionant el no funcionament del sistema. A continuació es connecten els tubs d'entrada i sortida de la bomba, el que va al dipòsit (entrada) i el que anirà a l'injector (sortida) i es passa aquest últim cap a la part frontal del vehicle, tenint en compte que no pot ser obstruït en cap moment, ja que, deixaria d'arribar fluid a l'injector. A diferència de quan es muntava el dipòsit, la orientació de la bomba no és important, tot i que es recomana que es munti horitzontalment per tal de garantir una millor fixació i trobar

una localització que compleixi amb els requisits comentats amb anterioritat. La bomba, com el dipòsit, va fixada amb 4 cargols al xassís del vehicle.

PAS 3: Un cop es tenen els dos elements de la part posterior muntats, cal passar el tub de sortida de la bomba, que serà el que portarà el fluid de la mateixa cap a l'injector, a la part frontal tal i com s'ha comentat anteriorment. Per tal de fer-ho es recomana passar-lo per sota la moqueta i pel costat on el camí al conducte d'admissió posterior a l'intercooler sigui més curt.

PAS 4: Amb el conducte passat a l'habitacle del motor, és moment d'instal·lar l'injector al conducte d'admissió. Per tal de fer-ho, és necessari desmuntar el conducte d'admissió, que porta l'aire comprimit i refredat des de l'intercooler, al col·lector d'admissió. Un cop es té el col·lector desmuntat, cal fer-li un forat amb una broca i posteriorment una rosca amb una punta de rosques. És molt important que l'usuari busqui la ubicació adequada per muntar l'injector, per tal d'evitar que quan aquest estigui col·locat, i es torni a posar el conducte a lloc, no toqui tant al capó com a altres parts del motor, fet que podria trencar l'injector.

PAS 5: Amb el forat fet, es rosca l'injector amb una mica de pasta segellant, per evitar fugues de fluid. Amb l'injector a lloc, es procedeix a muntar el col·lector al seu lloc, de nou. Tenint així tots els components a lloc, s'està en disposició de passar a la connexió elèctrica dels elements entre ells.



Imatge 16. Disposició final de l'injector en el conducte d'admissió [24]

PAS 6: Es procedeix a connectar elèctricament tots els elements que s'han instal·lat prèviament seguint l'esquema elèctric que es mostra en el punt [2.7](#). És molt important, a part de tenir les connexions ben fetes, seguint com es comenta anteriorment, l'esquema elèctric, que els cables quedin ben amagats però alhora disponibles per accedir als mateixos en cas de necessitat.

PAS 7: Per últim, es procedeix a col·locar el controlador a un lloc del vehicle accessible per el conductor de manera que aquest pugui modificar els parametres de funcionament del sistema en cas de necessitat.

3.2 ADAPTACIÓ DEL SISTEMA

Com qualssevol part que es modifiqui o s'afegeixi a un cotxe, cal calibrar i ajustar les parts corresponents per tal de poder extreure'n el màxim rendiment, i que el sistema s'adapti plenament al cotxe per obtenir les prestacions desitjades.

Normalment, quan s'instal·la un sistema d'aquest tipus, es realitza una modificació a la centralita del vehicle mentre el vehicle es troba en un banc de potència. En aquest banc es monitoritzen tots els paràmetres del motor per poder adaptar els sistemes incorporats al vehicle amb molta precisió i extreure'n un rendiment elevat.

Una petita introducció teòrica pel que fa a la incorporació d'aquest tipus de sistemes: La idea és injectar aigua i metanol fins que el motor experimenti el que es coneix com a "*Quench*". El "*Quench*" és un fenomen que es produeix quan es té un excés d'aigua i metanol al motor que refreda la combustió de tal manera que no es pot produir la combustió complerta del combustible. Aquest fenomen també pot venir donat per AFRs massa rics o bé per períodes d'encès de bugia massa espaiats.

Per tal d'adaptar un sistema d'injecció d'aigua i metanol, cal seguir uns passos que, són els mateixos independentment del vehicle al que s'instal·li el sistema. Els passos són els següents:

PAS 1: Assegurar que les bugies actuals estan en bon estat i tenen els elèctrodes ben esmolats. Modificar el temps d'encès de les bugies, que segons el model variarà, però que segons el fabricant *Snow Performance*, es pot aproximar a 0,028 per a tots els models i marques [25].

PAS 2: Ajustar la pressió màxima del turbo, en cas que aquesta sigui ajustable.

PAS 3: Configurar el controlador: Seleccionar la pressió a la que es desitja que aquest comenci a injectar i la màxima del turbo per que la injecció sigui màxima. En els sistemes actuals es recomana que la pressió d'inici sigui la meitat de la màxima, en el sistema proposat en aquest treball, un sistema d'operació continuada, la pressió d'inici és l'atmosfèrica.

PAS 4: Amb el sistema encès, es fa una carrera per comprovar les prestacions del motor. Si el motor perd potència, cal regular l'inici d'injecció augmentant-lo, o bé augmentant el punt d'injecció màxima. Existeix la possibilitat que en cas d'estar modificant molt sovint el punt d'injecció per evitar el "*Quench*", es requereixi d'un broquet més petit.

PAS 5: Avançar el temps d'encès de dos graus en dos graus fins arribar al punt de màxima potència. Després es retrocedeix en dos graus l'encesa i ja s'està en disposició d'extreure'n el màxim rendiment.

3.3 MANTENIMENT DELS SISTEMA

Per tal de garantir un bon funcionament del sistema i assegurar que aquest pugui oferir les prestacions que s'esperen un bon manteniments és essencial. Aquest manteniment no caldrà dur-lo a terme amb molta freqüència, ja realitzant aquestes operacions un cop cada any, és suficient per garantir el bon funcionament del sistema.

Aquest manteniment és basa en una operació, i un seguit de precaucions que s'esmenten a continuació:

- Desmuntar el “*Nozzle*” de l'injector i rentar els filtres que aquest porta amb una dissolució de calci, que a part d'assegurar que queda net, en prevé la corrosió .
- Aquest sistema no requereix lubricació, i qualsevol additiu destinat a lubricar, pot malmetre'l i provocar que aquest no funcioni correctament.
- Cal tenir precaució a l'hora d'omplir el tanc de fluid i evitar que entrin partícules. L'introducció d'aquetes partícules en el sistema podrien obstruir tubs o fer malbé l'injector o la bomba.
- Evitar l'ús de cintes adhesives, o americana, per unir els tubs amb els diferents components, els elements han estat dissenyats per evitar pèrdues, i en cas de necessitar estanqueïtat addicional es fa servir en els punts indicats, és a dir a la unió de l'injector amb el col·lector d'admissió, amb pasta segellant.

CAPÍTOL 4: CÀLCULS DEL SISTEMA

4.1 HIPÒTESIS, SIMPLIFICACIONS I ACLARIMENTS

Degut a la complexitat dels models reals d'un motor de combustió interna es realitzaran una sèrie de simplificacions de cara a l'estudi d'un model teòric. El fet d'introduir aquestes hipòtesis i simplificacions provoca que existeixi un cert grau d'error que, bé és menyspreable o bé és assumible. A continuació s'exposen els principals punts que s'han assumit per la realització d'aquest projecte.

Referents al fluid motor

- El fluid motor està compost per una barreja d'aire, aigua i combustibles que es comporta com un gas ideal i, per tant, són vàlides totes les expressions i equacions dels gasos ideals.
- El sistema limitat per les parets del cilindre i el pistó formen un sistema tancat, per la qual cosa, no es produirà variació de massa dintre del sistema. Dit d'una altra manera, no hi ha pèrdues de massa a través dels segments ni a través de les vàlvules.
- Es menysprearan els fregaments interns del fluid amb els component del motor a causa del seu moviment.
- La gasolina es suposarà que està composta únicament per octà.
- Les densitats utilitzades en els càlculs

Referents al motor

- El pistó es desplaça dintre del cilindre sense cap tipus de fregament.
- En el model utilitzat, es considerarà el diàmetre del pistó igual al diàmetre intern del cilindre.
- Els càlculs es realitzaran sobre el regim de revolucions màxim del motor per obtenir els valors màxims.
- Els càlculs es realitzaran a partir del valor estequiomètric del barreja d'aire i combustible per el motiu anterior.

Altres aclariments

- Alguns valors calculats depenen de les condicions atmosfèriques del lloc i del moment on s'està utilitzant el sistema, per tant, aquests poden variar lleugerament en cada circumstància.
- Els càlculs realitzats en aquest projecte, estan basats per un motor que s'ha escollit com a referència. Per tant, tots els càlculs que es veuen afectats per el funcionament o geometria del motor, variaran per cada automòbil.

4.2 DADES

Taula 3. Dades a tenir en compte per a realitzar els càlculs [Font pròpia]

$AFR_{stoich,g}=14,7$	$n_c=6$ cilindres
$AFR_{stoich,m}=6,47$	$p_{atm}=101325$ Pa
$c_{p,a}=1,0102$ kJ/kg·K	$p_{air,e}=236325$
$c_{p,m}=2,5341$ kJ/kg·K	$p_{MW50}=400000$ Pa
$c_{p,w}=4,1805$ kJ/kg·K	$RON_{gas}=95$
$d_i=84,5$ mm	$RON_{met}=108,7$
$h_{m(25^\circ C)}=1063,4$ kJ/kg	$s=89$ mm
$h_{w(25^\circ C)}=2546,5$ kJ/kg	$T_{amb}=25^\circ C$
$h_{m(55^\circ C)}=1083$ kJ/kg	$T_{air,e}=65^\circ C$
$h_{w(55^\circ C)}=2582,4$ kJ/kg	$T_{MW50}=25^\circ C$
$M_{air}=28,959$ g/mol	$V_{cc}=54$ cm ³
$M_{CO_2}=44,009$ g/mol	$\rho_{a(65^\circ C)}=2,4344$ kg/m ³
$M_{gas}=114,232$ g/mol	$\rho_{g(25^\circ C)}=726$ kg/m ³
$M_{met}=32,042$ g/mol	$\rho_{m(25^\circ C)}=792$ kg/m ³
$M_{wat}=18,015$ g/mol	$\rho_{w(25^\circ C)}=997,05$ kg/m ³
$n=2$	$\eta_v=0,95$

4.3 CÀLCULS

4.3.1 CÀLCULS BÀSICS

La dissolució proposada en aquest projecte és la formada per un 50% de metanol, un 49,5% d'aigua i un 0,5% d'un oli soluble en aigua que té com a principal funció lubricar i protegir els conductes interns del sistema d'injecció i del motor contra la corrosió. És important senyalar que aquests percentatges son volumètrics.

A l'hora, tota aquesta barreja que serà referida com MW50, conformarà el 15% del total de la barreja d'aquest amb la gasolina, que formarà el 85% restant. Per tant, es tindrà un 85% de gasolina, un 7,5% de metanol i un 7,5% d'aigua (Tot i que la barreja d'aigua i metanol porta una petita part d'oli, aquest no es tindrà en compte a l'hora de fer els càlculs).

PERCENTATGES MÀSSICS

Dit això, cal començar calculant el percentatges màssics per a diferents relacions de fluids, a través de la següent expressió:

MW50

$$\%Mass = \frac{\%Vol * \rho}{\frac{\sum \rho_i * \%Vol_i}{100}} \quad (1)$$

$$\%Mass_w = \frac{\%Vol_w * \rho_w}{\frac{\rho_w * \%Vol_w + \rho_m * \%Vol_m}{100}} = \frac{50 * 997,05}{\frac{997,05 * 50 + 792 * 50}{100}} = 55,731 \%$$

$$\%Mass_m = \frac{\%Vol_m * \rho_m}{\frac{\rho_w * \%Vol_w + \rho_m * \%Vol_m}{100}} = \frac{50 * 792}{\frac{997,05 * 50 + 792 * 50}{100}} = 44,269 \%$$

MW50 + Gasolina

$$\begin{aligned} \%Mass_{w,t} &= \frac{\%Vol_w * \rho_w}{\frac{\rho_w * \%Vol_w + \rho_m * \%Vol_m + \rho_g * \%Vol_g}{100}} = \frac{7,5 * 997,05}{\frac{997,05 * 7,5 + 792 * 7,5 + 726 * 85}{100}} \\ &= 9,954\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%Mass_{m,t} &= \frac{\%Vol_m * \rho_m}{\frac{\rho_w * \%Vol_w + \rho_m * \%Vol_m + \rho_g * \%Vol_g}{100}} = \frac{7,5 * 792}{\frac{997,05 * 7,5 + 792 * 7,5 + 726 * 85}{100}} \\ &= 7,907\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \%Mass_{g,t} &= \frac{\%Vol_g * \rho_g}{\frac{\rho_w * \%Vol_w + \rho_m * \%Vol_m + \rho_g * \%Vol_g}{100}} = \frac{85 * 726}{\frac{997,05 * 7,5 + 792 * 7,5 + 726 * 85}{100}} \\ &= 82,140\% \end{aligned}$$

Calculant els percentatges de, únicament, el combustible:

$$\%Mass = \frac{\%Mass}{\frac{\sum \%Mass_i}{100}} \quad (2)$$

$$\%Mass_{m,c} = \frac{\%Mass}{\frac{\sum \%Mass_i}{100}} = \frac{\%Mass_{m,t}}{\frac{\%Mass_{m,t} + \%Mass_{g,t}}{100}} = \frac{7,907}{\frac{7,907 + 82,140}{100}} = 8,780 \%$$

$$\%Mass_{g,c} = \frac{\%Mass_{g,t}}{\frac{\%Mass_{m,t} + \%Mass_{g,t}}{100}} = \frac{82,140}{\frac{7,907 + 82,140}{100}} = 91,220 \%$$

Tot i que no es un percentatge real, també es pot calcular la proporció d'aigua respecte els dos combustibles.

$$\%Mass_{w,c} = \frac{\%Mass_{w,t}}{\frac{\%Mass_{m,t} + \%Mass_{g,t}}{100}} = \frac{9,954}{\frac{7,907 + 82,140}{100}} = 11,054 \%$$

4.3.2 RELACIÓ AIRE-COMBUSTIBLE (AFR)

Els motors de combustió necessiten un combustible i oxigen (en aquest cas de l'aire) per produir energia a través de la combustió. Per garantir que el procés de combustió es porta a terme, unes certes quantitats d'aire i combustible han de ser subministrades a la cambra de combustió. El AFR o "air fuel ratio" és la relació entre la massa d'aire m_a i la massa de combustible m_f que entra a la cambra de combustió. Aquesta relació s'expressa de la següent manera.

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} \quad (3)$$

Quan en el procés de combustió, es crema tota la barreja d'aire i combustible, es diu que la relació d'aire i combustible és estequiomètrica. L'AFR estequiomètric teòric de la gasolina es de 14,7:1. Això significa que per cremar un quilogram de gasolina es necessiten 14,7 quilograms d'aire.

Si l'AFR és superior al valor estequiomètric es diu que la barreja és pobre, és a dir, que aquesta contindrà més aire del necessari per cremar tot el combustible. Mentre que si és inferior al valor estequiomètric es considera una barreja rica, i per tant, es tindrà més combustible del que es pot cremar amb la quantitat d'oxigen que es conté.

Una altre manera de referir-se a aquest tema es amb el FAR o "fuel air ratio" que no és més que la inversa del AFR, tal com s'expressa a l'equació (4)

$$FAR = \frac{1}{AFR} = \frac{m_f}{m_a} \quad (4)$$

Relació d'equivalència aire-combustible

La relació d'equivalència d'aire i combustible (λ) és el quocient de AFR entre AFR estequiomètric per un determinat combustible.

$$\lambda = \frac{AFR}{AFR_{stoich}} \quad (5)$$

On $\lambda < 1,0$ per barreges riques i $\lambda > 1,0$ per barreges pobres.

Relació d'equivalència combustible-aire

Com en el cas anterior també existeix la inversa d'aquest valor coneguda com la relació d'equivalència de combustible i aire (ϕ).

$$\phi = \frac{FAR}{FAR_{stoich}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{AFR_{stoich}}{AFR} \quad (6)$$

On $\phi < 1,0$ per barreges pobres i $\phi > 1,0$ per barreges riques.

Si s'obté un valor de $\lambda = 1,0$ o $\phi = 1,0$ la relació que s'obté es estequiomètrica.

El metanol té un AFR estequiomètric força inferior al de la gasolina, concretament de 6,47:1, per tant, l'aportació de metanol al sistema com a part del combustible provocarà un descens global del AFR respecte el de la gasolina.

A partir de les proporcions màssiques i els ARF dels dos combustibles es pot calcular el valor estequiomètric de la barreja:

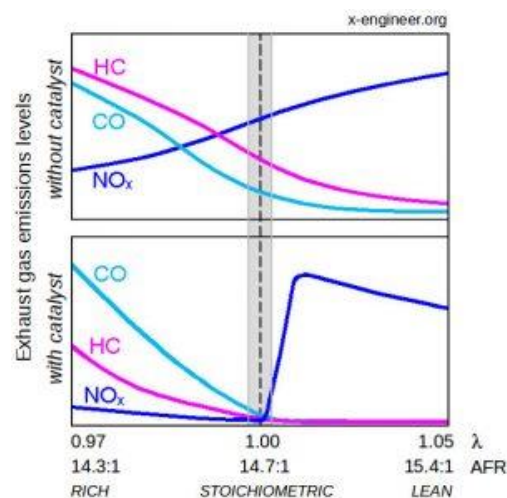
$$\begin{aligned}
 AFR_{stoich} &= \frac{AFR_{stoich,g} * \%Mass_{g,c} + AFR_{stoich,m} * \%Mass_{m,c}}{100} \\
 &= \frac{14,7 * 91,220 + 6,47 * 8,780}{100} = 13,977
 \end{aligned} \quad (7)$$

Això es tradueix en que es necessitarà menys oxigen per cremar la mateixa quantitat de combustible o, expressat d'una altra manera, es podrà cremar més combustible amb la mateixa quantitat d'oxigen.

Impacte del AFR en les emissions de gasos de combustió

Les emissions de gasos de combustió d'un motor de combustió depenen directament del valor d'equivalència d'aire i combustible. Les principals emissions d'un motor de gasolina són les següents: CO (monòxid de carboni), HC (hidrocarburs), NOx (òxids de nitrogen) i partícules de combustible no cremades.

Durant una combustió rica es produeixen principalment CO i HC, mentre que durant una combustió pobre la producció és principalment de NOx. En el gràfic 4 es pot observar com afecta l'AFR a les emissions.



Gràfic 4. Emissions vs riquesa de la barreja [26]

Com es pot apreciar, amb l'ús d'un catalitzador, element que actualment es obligatori incorporar a tots els vehicles que es fabriquen, es poden obtenir unes emissions molt baixes utilitzant una relació d'equivalència d'aire i combustible pròxima a l'estequiriòmetrica, $\lambda \approx 1,0$.

4.3.3 CONSUM DEL SISTEMA

A partir dels càlculs realitzats anteriorment, es sap que per cada 13,977 kg d'aire es cremarà 1kg de combustible.

Masses

Amb els valors de l'equació (7) i els percentatges màssics de combustible, es pot saber la massa de cada substància per 1 Kg de combustible.

$$m_{air,kf} = 13,977 \text{ Kg aire}$$

$$m_{gas,kf} = 1kg * \frac{91,2195}{100} = 0,9122 \text{ Kg gasolina} \quad (8)$$

$$m_{met,kf} = 1kg * \frac{8,7805}{100} = 0,0878 \text{ Kg metanol}$$

$$m_{wat,kf} = 1kg * \frac{11,0538}{100} = 0,1105 \text{ Kg aigua}$$

I la massa total per 1 Kg de combustible es de:

$$m_{tot} = \sum m_i = 13,977 + 0,9122 + 0,0878 + 0,1105 = 15,0879 \text{ Kg} \quad (9)$$

Dividint tots els valors per 13,977 s'obtenen els valors de massa per un quilogram d'aire.

$$m_{gas,ka} = \frac{m_{gas,kf}}{m_{air,kf}} = \frac{0,9122}{13,977} = 0,0653 \text{ Kg} \quad (10)$$

$$m_{met,ka} = \frac{m_{met,kf}}{m_{air,kf}} = \frac{0,0878}{13,977} = 0,00628 \text{ Kg}$$

$$m_{wat,ka} = \frac{m_{wat,kf}}{m_{air,kf}} = \frac{0,1105}{13,977} = 0,00791 \text{ Kg}$$

Volums

Per un Kg d'aire:

$$V_{gas,ka} = \frac{m_{gas,ka}}{\rho_{gas} * 1000} = \frac{0,0653}{726 * 1000} = 0,08989 \text{ l} \quad (11)$$

$$V_{met,ka} = \frac{m_{met,ka}}{\rho_{gas} * 1000} = \frac{0,00628}{792 * 1000} = 0,00793 \text{ l}$$

$$V_{wat,ka} = V_{met,ka} = 0,00793 \text{ l}$$

Per un litre d'aire:

$$V_{gas,la} = \frac{V_{gas,ka} * \rho_{air}}{1000} = \frac{0,08989 * 2,4344}{1000} = 0,000219 \text{ l} \quad (12)$$

$$V_{met,la} = V_{wat,la} = \frac{V_{met,ka} * \rho_{air}}{1000} = \frac{0,00793 * 2,4344}{1000} = 0,0000193 \text{ l}$$

4.3.4 ÍNDEX D'OCTÀ

Com s'ha comentat amb anterioritat, l'índex d'octà és un factor molt important per el funcionament del sistema. La introducció del metanol com a segon combustible provoca que l'índex d'octà de la barreja augmenti respecte el de la gasolina sola.

Aquest índex d'octà és pot calcular a partir de les fraccions molars de cadascun dels components que formen part del combustible, que en aquest cas són, metanol i gasolina.

$$x_i = \frac{\rho_i * C_i}{M_i} * \frac{1}{\sum \frac{\rho * C}{M}} \quad (13)$$

$$x_g = \frac{\rho_g * C_g}{M_g} * \frac{1}{\frac{\rho_m * C_m}{M_m} + \frac{\rho_g * C_g}{M_g}} = \frac{726 * 91,8919}{114,23} * \frac{1}{\frac{792 * (100 - 8,1081)}{32,042} + \frac{726 * 91,8919}{114,23}} = 0,7445$$

$$x_m = \frac{\rho_m * C_m}{M_m} * \frac{1}{\frac{\rho_g * C_g}{M_g} + \frac{\rho_m * C_m}{M_m}} = \frac{792 * 8,1081}{32,042} * \frac{1}{\frac{726 * 91,8919}{114,23} + \frac{792 * 8,1081}{32,042}} = 0,2555$$

L'índex d'octà és calcula aplicant la següent expressió:

$$RON_{blend} = \sum_{i=1}^n x_i * RON_i \quad (14)$$

$$RON_{blend} = x_g * RON_g + x_m * RON_m = 0,7445 * 95 + 0,2555 * 108,7 = 98,500$$

4.3.5 INTERCANVI DE CALOR

La principal funció de la implementació del MW50 en un motor de combustió, és l'extracció de calor a l'aire d'entrada. Per tant, l'intercanvi de calor entre l'aire i el fluid injectat serà molt important.

El sistema en qüestió es tracta com un sistema obert, ja que, es produeix una transferència de calor, per tant, aquest intercanvi es pot calcular com:

$$Q - W = \sum \dot{m}_s * h_s - \sum \dot{m}_e * h_e \quad (15)$$

No hi ha cap màquina ni element que generi treball, per tant: $W=0$

$$Q = \sum \dot{m}_s * h_s - \sum \dot{m}_e * h_e \quad (16)$$

L'entrada està formada per dos cabals de fluid, que són: aire i MW50, mentre que la sortida és la barreja d'aquests 2.

En primer lloc s'han de calcular les entalpies de les entrades i sortides.

Començant per l'entalpia de la barreja d'aigua i metanol:

$$h_{MW50} = \sum x_i * h_i \quad (17)$$

Per calcular la fracció molar d'aigua i metanol, s'utilitza l'equació (13).

$$x_m = \frac{\rho_m * C_m}{M_m} * \frac{1}{\frac{\rho_g * C_g}{M_g} + \frac{\rho_m * C_m}{M_m}} = \frac{792 * 50}{32,042} * \frac{1}{\frac{997,05 * 50}{18,015} + \frac{792 * 50}{32,042}} = 0,3087$$

$$x_w = 1 - x_m = 1 - 0,3087 = 0,6913$$

Un cop es tenen les fraccions molars ja es pot calcular l'entalpia de la barreja aplicant l'equació (17).

$$h_{MW50} = x_m * h_m + x_w * h_w = 1063,4 * 0,3087 + 2546,5 * 0,6913 = 2088,6285 \text{ KJ/Kg}$$

Seguidament, es calcula l'entalpia de l'aire d'entrada.

L'aire atmosfèric porta una petita quantitat d'aigua degut a la humitat de l'ambient. Aquesta quantitat d'aigua serà la mateixa abans quan l'aire està a l'atmosfera que quan està apunt d'interactuar amb la dissolució d'aigua i metanol, per tant, es calcularà en condicions atmosfèriques per simplicitat. Aquest valor es necessari per poder calcular, més endavant, l'entalpia específica de l'aire.

Calculant la pressió de saturació de l'aigua:

$$\ln p_{ws} = 14,293 - \frac{5291}{T} \quad (p_{ws} \text{ en bar, i } T \text{ en K}) \quad (18)$$

Eliminant els logaritmes s'obté:

$$p_{ws} = e^{14,293 - \frac{5291}{T}} = e^{14,293 - \frac{5291}{25+273,15}} = 0,03165 \text{ bar} = 3165 \text{ Pa} \quad (19)$$

Calculant la pressió de l'aigua:

$$p_w = \varphi * p_{ws} = 0,75 * 3165 = 2373,6 \text{ Pa} \quad (20)$$

I la quantitat d'aigua és:

$$W = 0,622 * \frac{p_w}{p_e - p_w} = 0,622 * \frac{2373,6}{101325 - 2373,6} = 0,0230 \frac{\text{Kg aigua}}{\text{Kg aire}} \quad (21)$$

Un cop es tenen totes les dades ja es pot calcular l'entalpia de l'aire. En aquest cas si que són importants les condicions de l'aire, ja que afecten directament a l'entalpia d'aquest.

$$\begin{aligned} h_{air} &= 1,004 * t + W(2500,6 + 1,86 * t) \\ &= 1,004 * 65 + 0,023 * (2500,6 + 1,86 * 65) = 125,55 \text{ KJ/Kg} \end{aligned} \quad (22)$$

Finalment, queda calcular l'entalpia de sortida utilitzant el mateix mètode que per el MW50. Per tant, comencem calculant la fracció molar de les parts. Les fraccions molars seran les mateixes abans i després de la barreja, per tant, es poden calcular a partir dels valors inicials de densitats i temperatures.

Per calcular les fraccions molar primer s'han de calcular les proporcions volumètriques entre aire, aigua i metanol.

$$C_m = C_w = \frac{V_{met,la}}{V_{air,la} + V_{met,la} + V_{wat,la}} * 100 = \frac{0,0000193}{1 + 0,0000193 + 0,0000193} * 100 = 0,00193 \quad (23)$$

$$C_a = \frac{V_{air,la}}{V_{air,la} + V_{met,la} + V_{wat,la}} * 100 = \frac{1}{1 + 0,0000193 + 0,0000193} * 100 = 99,996$$

Ara ja es poden calcular les fraccions molars utilitzant l'equació (13).

$$\begin{aligned} x_m &= \frac{\rho_m * C_m}{M_m} * \frac{1}{\frac{\rho_m * C_m}{M_m} + \frac{\rho_w * C_w}{M_w} + \frac{\rho_a * C_a}{M_a}} \\ &= \frac{792 * 0,00193}{32,042} * \frac{1}{\frac{997,05 * 0,00193}{18,015} + \frac{792 * 0,00193}{32,042} + \frac{2,4344 * 99,996}{28,959}} \\ &= 0,0056 \end{aligned}$$

$$x_w = \frac{\rho_w * C_w}{M_w} * \frac{1}{\frac{\rho_m * C_m}{M_m} + \frac{\rho_w * C_w}{M_w} + \frac{\rho_a * C_a}{M_a}}$$

$$= \frac{997,05 * 0,00193}{18,015} * \frac{1}{\frac{997,05 * 0,00193}{18,015} + \frac{792 * 0,00193}{32,042} + \frac{2,4344 * 99,996}{28,959}}$$

$$= 0,0125$$

$$x_a = 1 - x_m - x_w = 1 - 0,00558 - 0,01248 = 0,9819$$

A partir de les fraccions molars ja es pot calcular l'entalpia utilitzant l'equació (17). En aquest cas si que s'han d'agafar les propietats de les substàncies un cop barrejades. Les entalpies utilitzades són les corresponents per a una temperatura de 55°C, que es aproximadament, la que s'espera

$$h_s = x_m * h_m + x_w * h_w + x_a * h_a$$

$$= 1083,0 * 0,0056 + 2582,4 * 0,0125 + 125,55 * 0,9819 \quad (24)$$

$$= 161,557 \text{ KJ/Kg}$$

Un cop s'han calculat les entalpies, cal calcular els cabals d'entrada i sortida. Aquest últim es pot calcular a partir del volum dels cilindres calculat amb la següent expressió:

$$V_t = \left(\frac{\pi}{4} * d_i^2 * \frac{s}{10} + V_{cc} \right) * n_c = \left(\frac{\pi}{4} * 84,5^2 * \frac{89}{10} + 55 \right) * 6 = 3318,64 \text{ cm}^3 \quad (25)$$

La massa d'aire del motor es pot calcular com:

$$m_{air} = V_t * \rho_{air} * \frac{1}{\eta_v} = 3318,64 * 10^{-6} * 2,4344 * \frac{1}{0,95} = 0,008504 \text{ Kg aire} \quad (26)$$

I a partir d'aquesta massa d'aire es calculen la resta de masses.

$$m_{gas} = \frac{m_{gas,kf} * m_{air}}{m_{tot}} = \frac{0,9122 * 0,008504}{15,0879} = 0,000514 \text{ Kg gasolina} \quad (27)$$

$$m_{met} = \frac{m_{met,kf} * m_{air}}{m_{tot}} = \frac{0,0878 * 0,008504}{15,0879} = 0,0000495 \text{ Kg metanol}$$

$$m_{wat} = \frac{m_{wat,kf} * m_{air}}{m_{tot}} = \frac{0,1105 * 0,008504}{15,0879} = 0,0000623 \text{ Kg aigua}$$

Un motor que treballa a altes revolucions, durant el període d'admissió, no té prou temps per omplir tot el volum del cilindre de barreja, degut a que aquest temps es molt petit. Per tant, el cabal de barreja que entra al cilindre depèn de la massa d'aquesta, les revolucions del motor i un factor d'entrada que depèn directament d'aquestes.

$$\dot{m}_i = \frac{m_i * rpm * f_e}{n} \quad (28)$$

$$\dot{m}_{air} = \frac{m_{air} * rpm * f_e}{n} = \frac{0,008504 * 7000 * 0,5}{2} = \frac{14,8822Kg}{min} aire = 0,248 Kg/s aire$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{met} &= \frac{m_{met} * rpm * f_e}{n} = \frac{0,0000495 * 7000 * 0,5}{2} = 0,0866 \frac{Kg}{min} metanol \\ &= 0,00144 Kg/s metanol \end{aligned}$$

$$\dot{m}_{wat} = \frac{m_{wat} * rpm * f_e}{n} = \frac{0,0000623 * 7000 * 0,5}{2} = 0,109 \frac{Kg}{min} aigua = 0,00182 Kg/s aigua$$

$$\dot{m}_{MW50} = \dot{m}_{met} + \dot{m}_{wat} = 0,00144 + 0,00182 = 0,00326 Kg/s MW50 \quad (29)$$

Com que el sistema no té pèrdues de massa, el cabal d'entrada serà igual que al cabal de sortida.

$$\dot{m}_s = \sum \dot{m}_e = \dot{m}_{MW50} + \dot{m}_{aire} = 0,248 + 0,00326 = 0,25126 Kg/s \quad (30)$$

Finalment s'aplica l'equació (16) per obtenir la transferència de calor del procés.

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m}_s * h_s - (\dot{m}_{MW50} * h_{MW50} + \dot{m}_{air} * h_{air}) \\ &= 0,25126 * 161,557 - (0,00326 * 2088,6285 + 0,248 * 125,55) = 2,647 KW \end{aligned}$$

Un cop s'ha obtingut la quantitat de calor cedida en el procés, ja es pot calcular la variació de temperatura que pateix l'aire durant aquest procés de transferència de calor.

Modificant l'equació (16) es pot calcular aquesta variació de temperatura.

$$Q = \sum \dot{m}_s * h_s - \sum \dot{m}_e * h_e = \dot{m} (h_s - h_e) = \dot{m} (\Delta h)$$

La variació d'entalpia es pot escriure com:

$$\Delta h = c_{p,s} * (\Delta T) \quad (31)$$

Per tant:

$$Q = \dot{m} * c_{p,s} * (\Delta T) \quad (32)$$

Amb les mateixes fraccions molars utilitzades per calcular l'entalpia de sortida i les capacitats calorífiques de cada substància, es calcula la capacitat calorífica del flux d'aire a la sortida.

$$\begin{aligned} c_{p,s} &= x_m * c_{p,m} + x_w * c_{p,w} + x_a * c_{p,a} \\ &= 0,0056 * 2,5341 + 0,0125 * 4,1805 + 0,9819 * 1,0102 \\ &= 1,058 KJ/Kg \cdot K \end{aligned} \quad (33)$$

I aïllant ΔT de l'equació (31):

$$\Delta T = \frac{Q}{\dot{m} * c_{p,s}} = \frac{2,647}{0,25126 * 1,058} = 9,96 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (34)$$

4.3.6 EFECTE DEL CABAL SOBRE LA TEMPERATURA

La temperatura d'entrada de l'aire es proporcional a la pressió que té un cop ha passat per el turbo. D'altra banda, el cabal d'aire depèn del règim de revolucions de gir del motor i aquest està directament relacionat amb la pressió de l'aire, per tant, es pot afirmar que la temperatura d'entrada de l'aire depèn del cabal d'aire i per tant del cabal de MW50.

Es pot relacionar la temperatura de l'aire amb les rpm del motor amb la següent expressió:

$$\frac{T_{air}}{rpm^x} = cte \quad (35)$$

Es saben els valors de temperatures d'entrada per el regim de revolucions màxim i mínim. Per tant, es pot deduir l'exponent x a partir de l'equació (35).

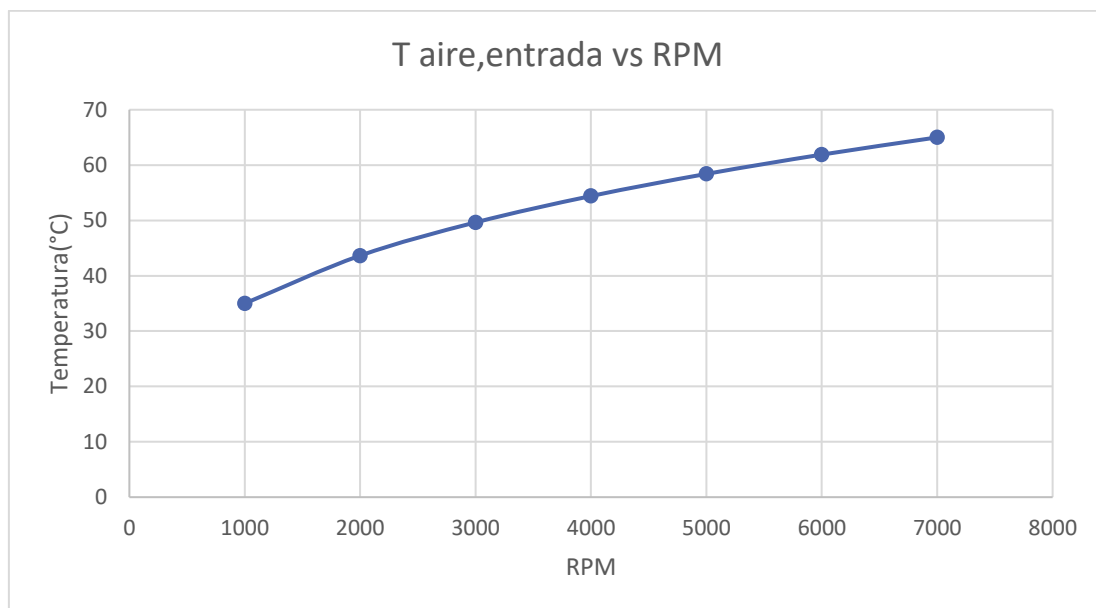
$$\frac{T_{air,max}}{rpm_{max}^x} = \frac{T_{air,min}}{rpm_{min}^x} \rightarrow \frac{65}{7000^x} = \frac{35}{1000^x} \quad (36)$$

S'obté un valor de $x=0,318$.

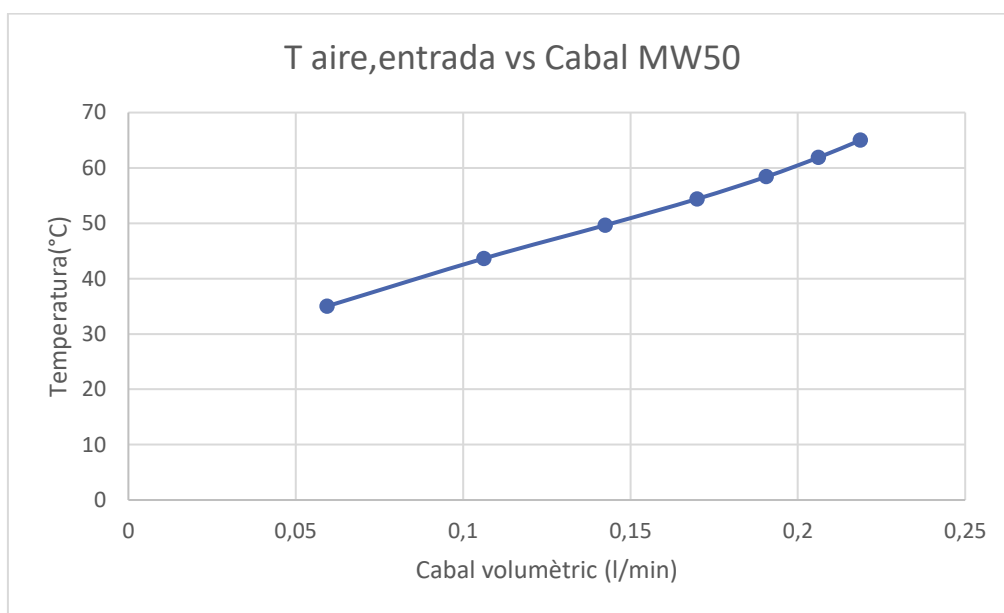
Aplicant l'equació (35) per diferents valors de rpm dintre de l'interval, es troben les corresponents temperatures.

A partir dels cabals calculats a l'apartat anterior utilitzant les equacions (28) i (29) es dedueixen els valors d'aquests per a cada règim de revolucions dintre de l'interval.

Un cop calculats, els cabals i les temperatures, s'extreuen les següents gràfiques per poder observar gràficament com afecta la temperatura d'entrada al cabal de MW50 que s'injecta.



Gràfic 5. Temperatura d'entrada d'aire vs RPM [Font pròpia]



Gràfic 6. Temperatura d'entrada d'aire vs Cabal MW50 [Font pròpia]

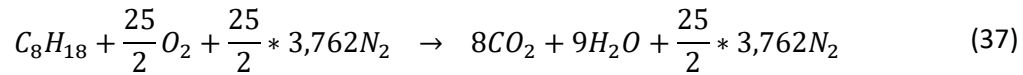
4.3.7 EMISSIONS

Com s'ha explicat anteriorment, el metanol es un gas de combustió molt net que quan es crema produeix, bàsicament, aigua i CO_2 . L'aigua, òbviament, no es un gas de combustió, per tant, les úniques emissions que es tindran en compte són les de diòxid de carboni.

Per mitjà de les reaccions químiques i les masses molars dels components, es poden calcular les emissions de cadascun dels combustibles i la reducció d'aquestes que suposa la incorporació del metanol.

D'altre banda, el metanol arriba a la cambra de combustió barrejat amb l'aire, mentre que la gasolina s'injecta directament a la cambra de combustió, per tant, els 2 combustibles no estan barrejats, de manera que es poden calcular les emissions de cadascun per separat i després el total a partir de les fraccions d'aquests.

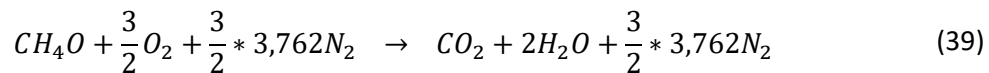
Escrivint la reacció química de la gasolina i equilibrant-la:



Per tant, per cada mol de gasolina es generen 8 mols de CO_2 .

$$CO_2 = \frac{8 mol * M_{CO_2}}{1 mol * M_{gas}} = \frac{8 * 44,009}{1 * 114,232} = 3,082 \frac{g CO_2}{g gas} = 3,082 \frac{Kg CO_2}{Kg gas} \quad (38)$$

Es segueix el mateix procés per el metanol.



Per tant, per cada mol de metanol es genera un mol de CO_2 .

$$CO_2 = \frac{1 mol * M_{CO_2}}{1 mol * M_{met}} = \frac{1 * 44,009}{1 * 32,042} = 1,373 \frac{g CO_2}{g met} = 1,373 \frac{Kg CO_2}{Kg met} \quad (40)$$

Es sap que un quilogram de combustible, està format per el 91,2195% de gasolina i el 8,7805% de metanol en fraccions màssiques.

Per tant, el CO_2 generat per la barreja és:

$$\begin{aligned} CO_{2(MW50)} &= \frac{CO_{2(gas)} * \%Mass_{gas} + CO_{2(met)} * \%Mass_{met}}{100} \\ &= \frac{3,082 * 91,2195 + 1,373 * 8,7805}{100} = 2,932 \frac{Kg CO_2}{Kg comb} \end{aligned} \quad (41)$$

I la reducció d'emissions és:

$$\begin{aligned} \%Reducció d'emissions &= \left(1 - \frac{CO_{2(MW50)}}{CO_{2(gas)}} \right) * 100 = \left(1 - \frac{2,932}{3,082} \right) * 100 \\ &= 4,868 \% \end{aligned} \quad (42)$$

CAPÍTOL 5: IMPACTE MEDIAMBIENTAL

En aquest capítol s'analitzen les repercussions que tindrà sobre el medi ambient el funcionament normal del sistema, així com l'impacte en cas d'accident.

5.1 IMPACTE DEL FUNCIONAMENT NORMAL DEL SISTEMA

El diòxid de carboni és el gas d'efecte hivernacle més abundant a l'atmosfera i el que es produeix amb més quantitat per els vehicles que circulen per les carreteres. Les emissions de CO₂ que generen els vehicles terrestres comporta entre el 20% i el 25% de les emissions totals d'aquest gas, per aquest motiu la reducció d'emissions és un tema al que se li atribueix molta importància en aquest sector.

En quan a les emissions de la resta de gasos, la gasolina genera una quantitat de gasos tòxics com òxids de nitrogen o monòxid de carboni pràcticament negligible. On realment aquests gasos es generen de manera rellevant es en els motors dièsel. En el cas del metanol, aquest és un combustible molt net, ja que, quan es crema no genera gasos contaminants perillosos sinó que només genera CO₂ i aigua. Com el sistema proposat en aquest projecte està pensat per ser incorporat en motors de gasolina, les emissions d'aquests gasos tòxics no es tenen en compte.

El sistema proposat en aquest projecte, comporta una millora notable en el nivell d'emissions de gasos contaminants. El fet d'incorporar metanol com a combustible, en comptes de, únicament gasolina, provoca un descens considerable de les quantitats de CO₂ produïdes durant la combustió. Com es pot apreciar a l'apartat de càlculs les emissions es redueixen fins a un màxim de pràcticament un 5%.

5.2 IMPACTE EN CAS D'ACCIDENT

L'impacte que el sistema proposat causaria en el medi ambient en cas d'accident no seria gaire diferent al del vehicle sense el mateix sistema.

La gasolina es un combustible tòxic, tan si s'ingereix via oral, com si es respiren els vapors que genera. En quan al metanol, aquest es força més tòxic que la gasolina si s'està exposat a ell de les mateixes maneres comentades per la gasolina. El fet es que durant l'ús normal del vehicle amb aquest sistema l'exposició directe amb els fluids és inexistent. En cas d'accident això pot canviar, tot i que el perill no es tant gran com pugui semblar respecte un ús convencional de únicament gasolina, ja que, la quantitat de metanol que pot portar el cotxe, és força inferior a la de la gasolina i a més el metanol està diluït amb aigua.

El fet que pot augmentar la perillositat en cas d'accident és que el metanol es altament volàtil i té una temperatura d'inflamabilitat molt baixa, fet que augmenta el risc d'incendi o explosions.

A més quan el metanol s'evapora a l'atmosfera, part d'aquest s'oxida formant dues toxines altament perilloses: el formaldehid (CH₂O) que s'utilitza com a conservant de matèria orgànica en laboratoris i l'àcid fòrmic (CH₂O₂) que es troba, per exemple, en el verí d'algunes espècies de formigues.

CAPÍTOL 6: CONCLUSIONS

Aquest projecte ha suposat molta feina. Ha sigut un procés realment complicat, sobretot a l'hora de buscar informació i documentació per poder realitzar tots els processos de disseny i càlculs. El fet d'utilitzar diferents substàncies que es barregen entre elles sempre aporta un extra de dificultat a l'hora de realitzar els càlculs pertinents, i en aquest cas encara més, ja que són barreges sobre les quals s'ha experimentat poc i això complica l'obtenció d'informació.

Després de realitzar els càlculs necessaris per explicar, teòricament, el principi de funcionament del sistema i poder realitzar el disseny d'aquest, es procedeix a analitzar els resultats obtinguts.

Com es pot observar la relació aire-combustible estequiomètrica del sistema és inferior a la d'un motor convencional que només utilitza gasolina, fet que era d'esperar, ja que, l'AFR del metanol es inferior al de la gasolina. Aquesta reducció provoca que es necessiti menys aire per cremar la mateixa quantitat de combustible, o dit d'una altra manera, que hi hagi més massa de combustible amb el mateix volum d'entrada de barreja als cilindres.

També s'ha demostrat que la injecció de MW50 provoca un descens de la temperatura de l'aire d'admissió quan les dues substàncies es barregen i interactuen entre elles. Aquest descens de temperatura provoca que la densitat de l'aire augmenti i, per tant, que transporti més massa d'oxigen per unitat de volum.

Aquests dos fets junts provoquen que la potència generada per el vehicle sigui major que si no s'utilitza el sistema de MW50, per un mateix règim de revolucions del motor. Malauradament, aquest augment de potència no es pot calcular teòricament, sinó que es necessita un banc de potència per realitzar les proves experimentals. Per tant, no s'ha pogut realitzar la demostració perquè no es disposa dels medis necessaris per la demostració.

D'altra banda, s'ha comprovat que l'índex d'octà de la barreja de combustibles ha augmentat com es podia preveure, ja que el del metanol és superior al de la gasolina. Aquest fet es tradueix en que el combustible té més resistència a la temperatura, és a dir, que necessita una temperatura més alta per auto-detonar. Dit d'una altra manera, la compressió del combustible dintre del cilindre provoca que la temperatura d'aquest augmenti, per tant, si té més resistència a la temperatura també tindrà més resistència a la compressió. Així que, si pot aguantar pressions més altres tindrà més resistència al picat de bieles.

Seguidament, s'ha demostrat que la injecció de metanol provoca un descens de les emissions de contaminants a l'atmosfera. El metanol es un alcohol amb una combustió molt neta que, bàsicament genera CO_2 i aigua. El fet de que el metanol tingui una massa molar força inferior a la de la gasolina, provoca que la quantitat de diòxid de carboni per el metanol sigui inferior. Per tant, la incorporació del metanol provoca un descens de les emissions de CO_2 de pràcticament el 5%.

Es pot concloure, tot i les dificultats que s'han tingut per la realització d'aquest projecte i la caracterització d'alguns processos, que els resultats obtinguts són bastant aproximats als que s'esperaven i que el sistema d'injecció d'aigua i metanol aporta grans propietats de cara a la millora del funcionament d'un motor de combustió interna.

CAPÍTOL 7: TREBALLS FUTURS

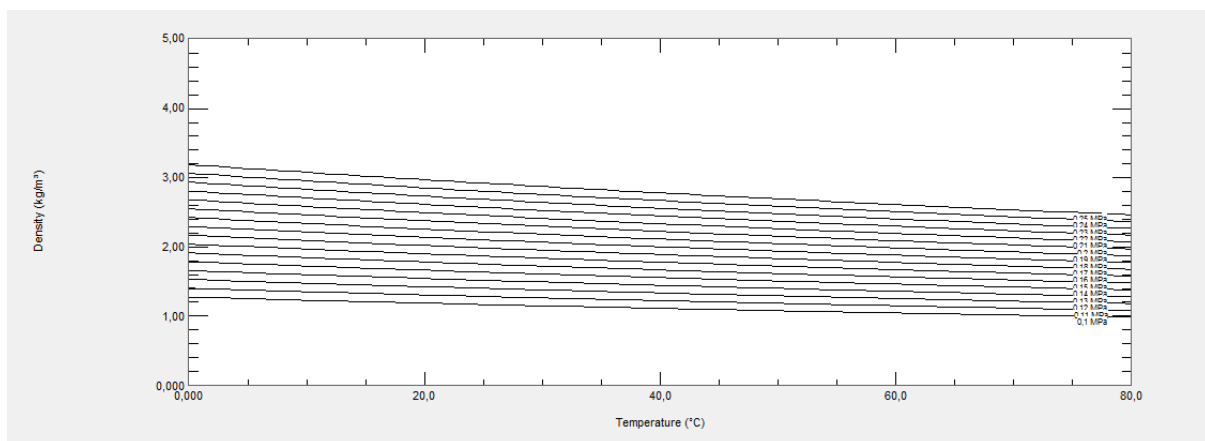
En aquest capítol, s'analitzen les possibles continuacions del treball en un futur, així com les comprovacions requerides de certs aspectes, que per motius obvis no s'han pogut dur a terme.

7.1 COMPROVACIÓ DE L'AUGMENT DE POTÈNCIA

Tal i com es comenta en el punt [1.5](#) del treball, s'espera que existeixi un augment de potència amb la implementació d'aquest sistema en qualsevol motor turbo-alimentat.

Aquest augment de potència, malauradament, no es pot calcular teòricament, sinó que requereix d'experimentació amb un model real o simulació amb softwares molt avançats, i de difícil accés per a estudiants.

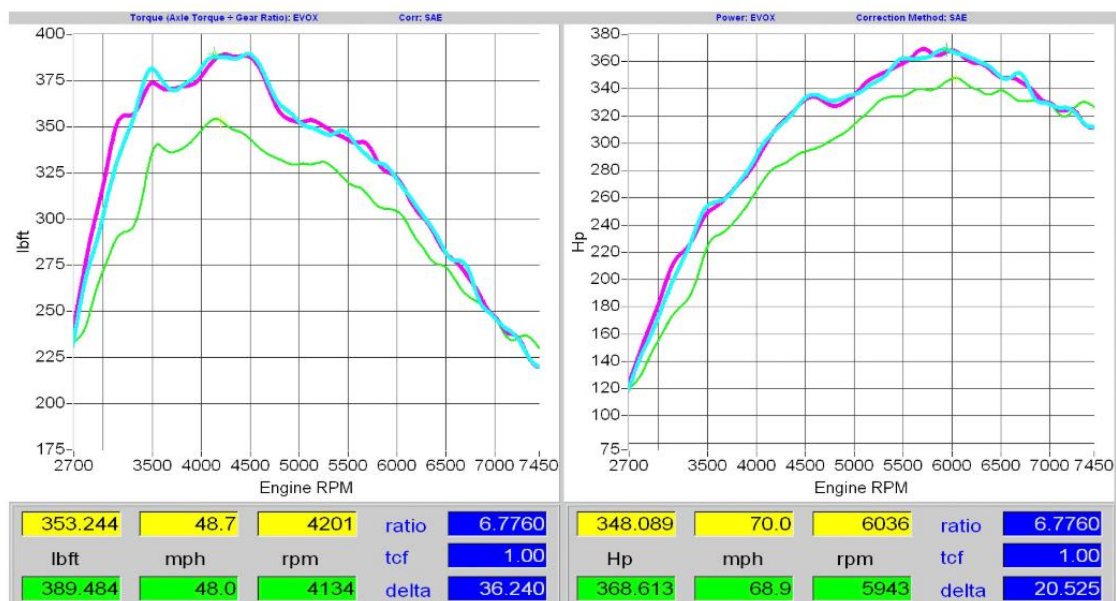
Es pot preveure que la potència que ofereix el motor amb aquest sistema, sigui superior a la de sèrie, ja que, com s'ha comentat, augmenta la massa d'oxigen que entra a la cambra de combustió per unitat de volum, degut a l'augment de la densitat de l'aire amb la disminució de la temperatura, fet que permet cremar més combustible, i que per tant es tradueix en un augment de potència.



Gràfic 7. Densitat vs. Temperatura per a diferents pressions (des de 1bar fins a 2,5bar) [Font pròpia NIST]

No només aquesta hipòtesis està present a l'hora d'extreure conclusions sobre el tema, sinó que també intervenen experiments realitzats prèviament amb sistemes similars al proposat, com els que s'han comentat al llarg del treball, d'empreses i entitats que es dediquen al sector. Cal remarcar, que aquests experiments no han estat citats al llarg del treball, ja que no provenen de fonts completament fiables, però que al final són experiments que permeten tenir una idea de cap a on s'espera que convergeixin els resultats.

Un d'aquests experiments és el que van realitzar els membres d'un blog americà anomenat "*Speed Academy*" [27], on instal·laven un sistema d'injecció d'aigua i metanol a un Mitsubishi Evolution X del 2010, vehicle que porta un motor de 4 cilindres 2.0 litres turbo-alimentat. L'experiment es va realitzar l'any 2015, amb un sistema d'injecció de l'empresa "*Snow Performance*", aquesta adaptació resultà amb millores significants pel que fa a potència i parell motor, tal i com es mostra en els següents gràfics:



Gràfic 8. [Esquerra] Comparació del parell motor entregat amb gasolina 91 (verd) vs. amb el sistema d'injecció d'aigua i metanol (blau i rosa), [Dreta] Comparació de la potència motor entregada amb gasolina 91 (verd) vs. amb el sistema d'injecció d'aigua i metanol (blau i rosa) [28]

Tal i com s'esperaven els components del grup que varen realitzar l'experiment, el guany de potència és considerable, amb un pic de 20 CV, així com el parell motor, amb un guany màxim de 36 lbs-ft. Passant així de 348 CV a 368 CV, i de 353 lbs-ft a 389 lbs-ft.

CAPÍTOL 8: REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- [1] Lerner, R.M i Reed, T. B. (1973), EEUU. *Methanol: A versatile fuel for immediate use*. Science.
- [2] Lerner, R.M i Reed, T. B. (1973), EEUU. *Methanol: A versatile fuel for immediate use*. Science. Taula 3.
- [3] *Bosch water injection*. [En línia] [24 de Març de 2018] <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-water-injection-58054.html>
- [4] *5 litres of water for 500 horses*. [En línia] [24 de Març de 2018] <https://www.bmw-m.com/en/topics/magazine-article-pool/5-litres-of-water-for-500-horses.html>
- [5] *Water/Methanol injection systems* [En línia] [24 de Març de 2018] <http://www.aemelectronics.com/?q=products/water-methanol-injection-systems>
- [6] *5 litres of water for 500 horses*. [Imatge digital] [24 de Març de 2018] <https://www.bmw-m.com/en/topics/magazine-article-pool/5-litres-of-water-for-500-horses.html>
- [7] *Water/Methanol kit for forced induction engines* [En línia] [24 de Març de 2018] <http://www.aemelectronics.com/products/water-methanol-injection-systems/water-methanol-injection-kit-for-forced-induction-gasoline-engines>
- [8] *Gases de escape y sistemas anticontaminación*. [Taula Euro 6] [24 de Març de 2018] <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>
- [9] ILSAC requests 'GF-5 Plus' specification. [Imatge digital] [24 de Març de 2018] <https://www.asharrison.com.au/ilsac-requests-gf-5-plus-specification/>
- [10] Breda, S. Berni, F. D'Adamo, A. Testa, F. Severi, E. Cantore, G. (2015), Modena, Itàlia. *Effects on knock intensity and specific fuel consumption of port water/methanol injection in a turbocharged GDI engine: Comparative analysis*. Energy Procedia.
- [11] Breda, S. Berni, F. D'Adamo, A. Testa, F. Severi, E. Cantore, G. (2015), Modena, Itàlia. *Effects on knock intensity and specific fuel consumption of port water/methanol injection in a turbocharged GDI engine: Comparative analysis*. Energy Procedia. Pàgina 99, Fig. 1b.
- [12] Breda, S. Berni, F. D'Adamo, A. Testa, F. Severi, E. Cantore, G. (2015), Modena, Itàlia. *Effects on knock intensity and specific fuel consumption of port water/methanol injection in a turbocharged GDI engine: Comparative analysis*. Energy Procedia. Pàgina 100, Fig. 2b.
- [13] Breda, S. Berni, F. D'Adamo, A. Testa, F. Severi, E. Cantore, G. (2015), Modena, Itàlia. *Effects on knock intensity and specific fuel consumption of port water/methanol injection in a turbocharged GDI engine: Comparative analysis*. Energy Procedia. Pàgina 101, Fig. 5a.
- [14] *Audi S5 Coupé 3.0 TFSI 333 CV quattro S tronic 7 vel. (2011-2012)*. [En línia] [4 de Maig de 2018] <https://www.km77.com/coches/audi/a5/2012/coupe/s5/s5-coupe-30-tfsi-quattro-s-tronic-333-cv/datos>

- [15] *Barrel plug flanged LDPE natural*. [Imatge digital] [4 de Maig de 2018] https://store.mocap.co.uk/mocap_es/bpf.html?Item=BPF460NA1&_ga=2.218138009.1085756180.1527693357-1814010483.1527693357
- [16] *SSS/SSL Diesel, Fuel or Water Level Sensor (4 - 60 in.)* [Imatge digital] [4 de Maig de 2018] http://wemausa.3dcartstores.com/Fuel-or-Water-Level-Sensor-4--60-in_p_9.html
- [17] *CPWR-BB-240-33 Water Level Gauge*. [Imatge digital] [4 de Maig de 2018] http://wemausa.3dcartstores.com/Water-Level-Gauge_p_21.html
- [18] *AEM (30-3322) V2 Water/Methanol Conductive Fluid Level Sensor*. [Imatge digital] [4 de Maig de 2018] https://www.amazon.com/AEM-30-3322-Methanol-Conductive-Sensor/dp/B00GSIBH00/ref=pd_sim_263_6?encoding=UTF8&pd_rd_i=B00GSIBH00&pd_rd_r=JYPEQSFAFP7K953RYFMA&pd_rd_w=vYPgo&pd_rd_wg=IJYfe&psc=1&refRID=JYPEQSFAFP7K953RYFMA
- [19] *5800/5900 Series*. [Imatge digital] [4 de Maig de 2018] <http://www.delavanagpumps.com/powerflo/5800-2/>
- [20] *1/2 MPT x 3/4 B Hose Barb Poly*. [Imatge digital] [4 de Maig de 2018] <https://www.pwmall.com/p-133606-143681-3A1234-12-mpt-x-34-b-hose-barb-poly>
- [21] *Universal Port Water Injector, 500cc, Symmetrical spray, 50°*. [Imatge digital] [4 de Maig de 2018] <https://www.nostrumshop.com/product/500cc-universal-port-water-injector/>
- [22] *Tubo de vacío silicona 5mm*. [Imatge digital] [4 de Maig de 2018] <https://demacmotor.net/tienda/manguitos-tubo-de-vacio/623-tubo-de-vacio-silicona-5mm.html>
- [23] Peter Tarach. *AEM Water/Methanol injection: Project Grips14*. [Imatge digital] [14 de Maig de 2018] <https://speed.academy/aem-water-methanol-injection-install-nissan-240sx-how-to/>
- [24] Michael Galimi. *How to Install the Snow Performance Methanol Injection Kit*. [Imatge digital] [14 de Maig de 2018] <http://www.superchevy.com/how-to/engines-drivetrain/1230-how-to-install-the-snow-performance-methanol-injection-kit/>
- [25] *How to Tune with Water-Methanol Injection*. [En línia] [14 de Maig de 2018] https://www.snowperformance.net/how-to-tune-w-water-methanol-injection_a/267.htm
- [26] *Air-fuel ratio, lambda and engine performance*. [Imatge digital] [10 de Maig de 2018] <https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/performance/air-fuel-ratio-lambda-engine-performance/>
- [27] *Methanol injection: The best bang for the buck horsepower mod*. [En línia] [28 de Maig de 2018] <https://speed.academy/methanol-injection-explained-power-gains/>
- [28] *Methanol injection: The best bang for the buck horsepower mod*. [Imatge digital] [28 de Maig de 2018] <https://speed.academy/methanol-injection-explained-power-gains/>

Lerner, R.M i Reed, T. B. *Methanol: A versatile fuel for immediate use*. 1973, EEUU. Science.

Breda, S. Berni, F. D'Adamo, A. Testa, F. Severi, E. Cantore, G. *Effects on knock intensity and specific fuel consumption of port water/methanol injection in a turbocharged GDI engine: Comparative analysis*. 2015, Modena, Itàlia. Elsevier, Energy procedia.

Berni, F. Breda, S. Lugli, M. Cantore, G. *A numerical investigation on the potentials of water injection to increase knock resistance and reduce fuel consumption in highly downsized GDI engines*. 2015, Modena, Itàlia. Elsevier, Energy procedia.

Ceviz, M.A. Kaymaz, I. *Temperature and air–fuel ratio dependent specific heat ratio functions for lean burned and unburned mixture*. Febrer del 2005, Erzurum, Turquia. Elsevier, Energy conversion & management.

Sileghem, L. Van De Ginste, M. Ghent, Belgica. *Methanol as a Fuel for Modern Spark-Ignition Engines: Efficiency Study*.

Rankovic, N. Bourhis, G. Loos, M. Dauphin, R. *Knock management for dual fuel SI engines: RON evolution when mixing low RON base fuels with octane boosters*. 2015, Rueil-Malmaison, France. Elsevier. 150, pp.41-47.

Vandeman, J. Heinicke, O. *Effect of Water-Alcohol injection and maximum-economy spark advance on knock-limited performance and fuel economy of large air-cooled cylinder*. Agost del 1945, Ohio, EEUU. NACA, MR No. E5H12.

B. Heywood, J. *Internal combustion engine fundamentals*. 2a edició. Massachussets, EEUU: MIT. ISBN-13: 978-1260116106





ANNEXOS

A1. TAULA DE COMPATIBILITAT DE METALLS AMB METANOL

Alloy Group	Application	Designation	Compatibility Rating
Carbon Steels	Piping	ASTM A53 Grade B, or A106 Grade B seamless pipe	A
	Valves	ASTM A216-Grade WCB Cast; ASTM A105 Forged; ASTM A352-Grade LCB Cast	A <0.02 in/yr
	Process Controls		A
	Tanks	(Mild Steel/Carbon Steel Plates) ASTM A36 S275JR, IS-2062 GR. A/B, Fe 410WA, Fe 410WB; ASTM A36 - GOST 08KP/3 PS SP – SAE 1006/1010/1020	A <0.02 in/yr
	Pressure Vessels	(Alloy Steel Plates 387 & Pressure Vessel Chrome Molybdenum Alloy Steel) ASTM A387 GR. 11 CL. 1/2; ASTM A387 GR. 12 CL. 1/2; ASTM A387 GR. 22 CL. 1/2; ASTM A387 GR. 5 CL. 1/2; DIN 17175 15Mo3; ASTM A387 GR.2 CL. 2/204 GR. A/204.B (Boiler Quality Plates designed to withstand the internal pressure of pressure vessels, boilers, and valves) ASTM A516 GR. 60; ASTM A516 GR. 70; ASTM A515 GR. 70; IS 2002 GR. 1/GR.2 (Quenched & Tempered Steel Plates) ASTM A514 GR. B; ASTM A517 GR. F; ASTM A537 CL. 1 & CL. 2	A <0.02 in/yr
	Gaskets		Satisfactory
Low Alloy,	Piping	1 Cr-½Mo; 1 ¼Cr-½ Mo; 2¼Cr-½Mo; 3Cr-1Mo; 5-Cr;	A

Alloy Group	Application	Designation	Compatibility Rating
High Temperature (>800°F; 425°C) Chrome-Molybdenum Carbon Steels		9Cr-1Mo ¹	
	Pressure Vessels	1 ¼Cr-½ Mo; 2¼Cr-½Mo; 3Cr-1Mo with Vanadium enhancement Product forms: ASTM A 182, A 199, A 217,A335, A336, A387, A 541, and A 73	A
3% Nickel-Iron Steel Alloy	Valves	ASTM A126-Class B Modified	A
Austenitic Stainless Steels (300 series alloys)	Piping	ASTM 304; ASTM 304L; ASTM 316; ASTM 316L (ASTM 321; ASTM 309; ASTM 310; ASTM 317L are not generally used for piping in methanol service, but may be used in chemical plant service involving methanol as a feed stock.)	A; A <0.02 in/yr <0.02 in/yr <0.02 in/yr
	Valves	ASTM A276 Type 316; ASTM A351-Grade CF-8M; ASTM A564 Type 630	A <0.02 in/yr
	Worcester Controls	ASTM 316; Alloy 20;	A; A <0.02 in/yr 0.002-0.02 in/yr
	Tanks	ASTM 304; ASTM 304L; ASTM 316; ASTM 316L (ASTM 321; ASTM 309; ASTM 310; ASTM 317L are not generally used for methanol storage tank service. ASTM 316L may be used in water treatment service where methanol is added as carbon for denitrification.)	A;A <0.02 in/yr <0.02 in/yr
	Pressure Sensors diaphragms, Transmitters, Flange Adaptors	ASTM 316; ASTM 316 SST	B; A <0.02 in/yr
	Isolating	ASTM 316; ASTM 316 SST	B; A

Alloy Group	Application	Designation	Compatibility Rating*
	Diaphragms,		
	Metal Gaskets	ASTM 304; ASTM 316; ASTM 347	Satisfactory
Ferritic & Martensitic Stainless Steels (400 series alloys)	Valves	ASTM B582 Type 416 Wrot; ASTM A217-Grade CA-15; ASTM A276 Type 410 Wrot	A
		3 commonly used generic Martensitic stainless steels: 13Cr, 13Cr-4Ni, 17Cr-4Ni	
Duplex Stainless Steels			
Nickel-Based Alloys	Worcester Controls	Hastelloy C276 (54Ni-16Mo-15.5Cr-5.5Fe-3.75W-2.75Co) Plate, Sheet, & Strip: ASTM B 575; ASTM B 906; ASME SB 575; ASME SB 906; ISO 6208' DIN 17750; VdTUV 400/12.98 Pipe and Tube: ASTM B 622; ASTM B 829 & ASME SB 622;; ASME SB 829 (seamless tube); ASTM B 6276; ASTM B 751 & ASME SB 626; ASME SB 751 (welded tube); ASTM B 619; ASTM B 775 & ASME SB 619; ASME SB 775 (welded pipe); ISO 6207 (seamless tube); DIN 17751; VdTUV 400/12.98 Fittings: ASTM B 366 & ASME SB 366 Welding Filler Metal: C-276 – AWS A5.14/ERNiCrMo-4 Welding Electrode: C-276 – AWS A5.11 /ENiCrMo-4	A <0.002 in/yr
	Pressure Sensors Transmitters-Flange Adaptors	Cast Alloy—Monel 400 (67Ni-33Cu); Hastelloy Cast Alloy C-276 (54Ni-16Mo-16Cr); Nickel Plated Carbon Steel	A; A; B <0.02 in/yr <0.002 in/yr <0.02 in/yr
	Pressure Sensors	Cast Alloy—Monel 400 (67Ni-33Cu); Cast Alloy C-276 (54Ni-16Mo-16Cr); Tantalum	A; A; A <0.02 in/yr

Alloy Group	Application	Designation	Compatibility Rating*
	Transmitters-Isolating Diaphragms		<0.002 in/yr
	Worcester Controls	Monel 400 (67Ni-33Cu)	A <0.02 in/yr
	Metal Gaskets	Nickel; Monel	Satisfactory
Cast Iron	Valves	Gray Cast Iron ASTM A 126 Class B	A <0.02 in/yr
	Valves	Ductile (nodular) Cast Iron ASTM A 395 Heat Treated; ASTM 536 As Cast	A <0.02 in/yr
	Worcester Controls		B <0.02 in/yr
	Pumps Valves	High Silicon Cast Iron	<0.002 in/yr
	Valves	Ni-Plated Ductile Cast Iron ASTM B 320 Plating	A <0.02 in/yr
Aluminum Alloys	Storage Tank floating Roofs	5454; 6061	B 0.02-0.05 in/yr
	Geodesic Tank Covers	6061; 6063; 6082	B 0.02-0.05 in/yr
	Rail Tanker Cars	EN 485-2 & EN 14286: alloys 5059, 5083, 5086, 5088, 5182, 5186, 5383, 5454 H38, 5754, 6061 & 6082	B 0.02-0.05 in/yr
	Tanker Trailers	EN 485-2 & EN 14286: alloys 5059, 5083, 5086, 5088, 5182, 5186, 5383, 5454 H38, 5754, 6061 & 6082	B 0.02-0.05 in/yr
	Totes	EN 485-2 & EN 14286: alloys 5083, 5454 H38, 5754, 6061 & 6082	B 0.02-0.05 in/yr
	Metal Gaskets		Satisfactory

TABLE 1. Compatibility of Metals and Alloys for Applications in Methanol Service			
<p>A = recommended, resistant under normal conditions B = conditional, consult supplier, consider modifying process parameters C = not recommended, investigate modifying process parameters Generalized corrosion metal thickness removal rate = 0.0# in/yr *Compatibility ratings indicated in this table are derived from published compatibility charts available on the internet. Neither the author nor Methanol Institute makes any warranty, explicit or implied regarding their accuracy or applicability to specific applications in methanol service.</p>			
Alloy Group	Application	Designation	Compatibility Rating*
Copper	Valves	ASTM B75 Wrot; ASTM B88	A <0.02 in/yr
	Shell & Tube Heat Exchanger Tubes		No Data
	Metal Gaskets		Satisfactory
Bronze	Valves	ASTM B 61 Cast; ASTM B 62 Cast; ASTM B 584; Alloy 844	A <0.02 in/yr
Silicon Bronze	Valves	ASTM B 98 Alloy B; ASTM B 3781 Wrot	A
Aluminum Bronze	Valves	ASTM B 148 Cast; ASTM B 150 Rod	A <0.02 in/yr
Tin Bronze			<0.02 in/yr
Brass	Valves	ASTM B 16 Wrot; ASTM B 124 Forged	A 0.02-0.05 in/yr
	Process Controls		B
Lead	Gaskets		<0.02/yr
Titanium Alloys	Piping	UNS designations: R50250 Grade 1, unalloyed; R56400 Ti-6-4, Ti-6Al-4V; R56260, Ti-6-2-4-6, Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo; Ti-3-8-6-4-4, Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo	C scc
Graphite	Valve Packing	Industrial grade with >98% graphite and < 2% ash for Temperatures ≤ 750°F (400°C)	A
	Valve Packing	Nuclear Grade with purity > 99% and density > 1.50 g/cm ³ ; Temperatures > 750°F (400°C)	A

A2. FITXA TÈCNICA DE L'INJECTOR

NOSTRUM energy Kinetic Water Injectors: KiWi™



Specialty Injectors

KiWi™ Direct Water

- High pressure, direct in-cylinder water injectors

KiWi™ Port Water

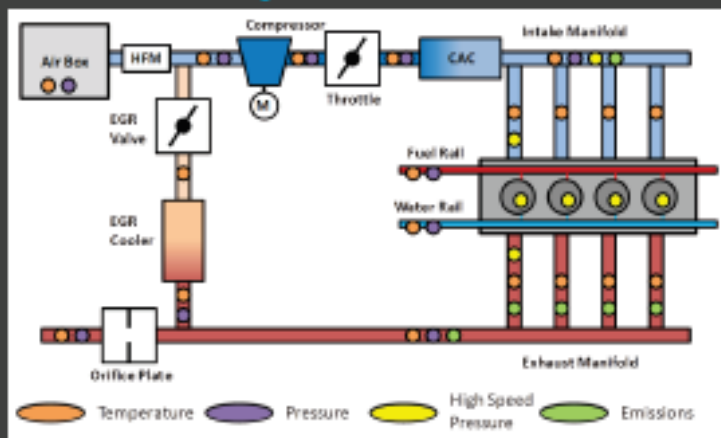
- Low and medium pressure, water injectors for intake track locations (single, multi and port)

Nostrum Energy's water injection technology with patented kinetic particle breakup nozzle is the unique proprietary injector designed to meet the extreme challenges of water injection. Nostrum's diluent injectors deliver improved atomization which enables Nostrum to reduce the amount of water that is used, maximizing the benefits of charge cooling and dilution, while minimizing any of the negative aspects that have been issues with prior efforts, such as oil dilution and component damage.

Kinetic Water Injection

- Patented kinetic particle breakup mechanism nozzle which delivers improved atomization, significantly reduced liquid lengths, and superior vaporization rates
- Operating Pressure: low (4bar) to high (250bar) pressure systems
- Spray targeting capabilities: up to 103deg plume widths and up to 35 degree targeting angle; split plume and special plume cross sections

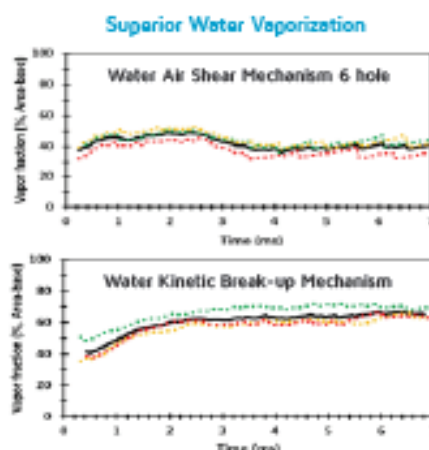
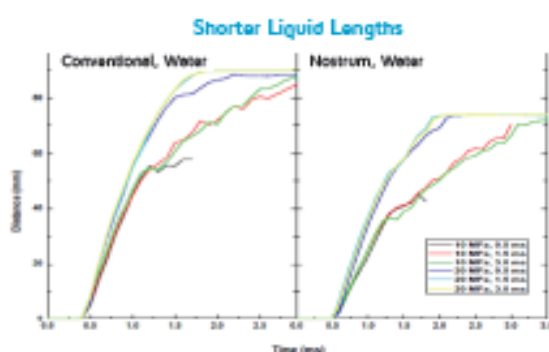
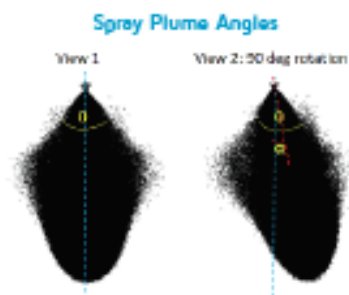
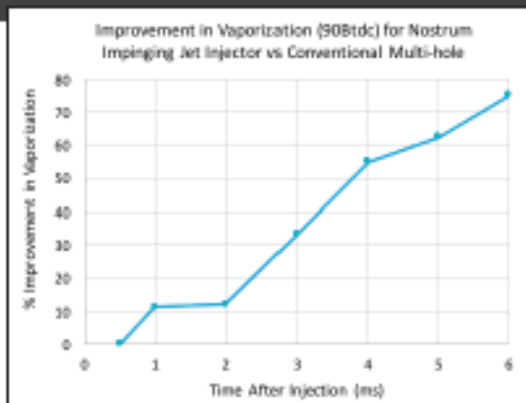
Engine Instrumentation



For more information, please contact:
info@nostrumshop.com



www.nostrumshop.com



An Effective Mechanism for Charge Cooling in Forced Induction Engines.

Product Line	KIWI™ Direct Water	KIWI™ Port Water
Application	Direct- In cylinder water injection	Port & Intake track water injection
Description	Fully integrated high pressure nozzle with colliding jet geometry	Modular plate with colliding jet geometry
Spray Type	Diffuse Cone Plume	Diffuse Cone Plume
Number of holes (n)	2-12	2-14
Plume angles (Theta)	35-110°	20-120°
Targeting angles (Alpha)	0-35°	0-45°
Plume cross sections	Round, Oval, Irregular, Concavely or Convexly polygonal, or any freeshape shape	Round, Oval, Irregular, Concavely or Convexly polygonal, or any freeshape shape
Static flow rates	Up to 25g/sec	Up to 16g/sec
Minimum pulse width	0.35msec	0.6msec
Static flow tolerance	+/- 3%	+/- 3%
Dynamic flow tolerance	+/- 3% @ 1ms	+/- 6% @ 1ms
Operating pressure	Up to 280 Bar	Up to 8 bar
Operating temperature range	-31°C - 130°C	-40°C - 110°C
Power Supply	Standard GDI Driver	9-16.5 V
Coil Resistance	1.5 Ω	12 Ω
Length (mm)	90	22.6, 48.65, 60.65

A3. FITXA TÈCNICA DE LA BOMBA



5800/5900 Series Pumps

5830/5930 - 3 GPM			5836/5936 - 3.6 GPM		
PSI	GPM	AMPS	PSI	GPM	AMPS
0	3.50	4.00	0	3.90	3.90
10	3.20	3.50	10	3.40	4.00
20	2.80	5.80	20	3.00	5.90
30	2.65	7.20	30	2.80	7.20
40	2.45	8.30	40	2.40	8.90
50	2.20	9.10	50	2.20	9.90
60	2.00	9.90	60	2.00	10.50

5840/5940 - 4 GPM			5850/5950 - 5 GPM		
PSI	GPM	AMPS	PSI	GPM	AMPS
0	5.00	4.50	0	5.80	5.10
10	4.20	4.80	10	5.00	6.00
20	3.80	6.10	20	4.50	9.00
30	0.40	7.20	30	4.10	7.20
40	3.10	9.60	40	3.80	13.00
50	2.50	10.10	50	3.30	14.50
60	2.00	11.30	60	3.00	16.30

A4. PROPIETATS DEL METANOL PUR

Physical Properties of Pure Methanol

Molecular Weight	32.04 g mol ⁻¹	Boiling Point	760 mm Hg (101.3 kPa)	64.6°C (148.3°F)
Critical Temperature	512.5K (239°C; 463°F)	Freezing Point		-97.6°C (-143.7°F)
Critical Pressure	8.084MPa (78.5 atm)	Reid Vapour Pressure		32 kPa
Critical Density	0.2715 g cm ⁻³	Flash Point		
Critical Compressibility Factor	0.224	Closed vessel (TCC method)		12°C (54°F)
Specific Gravity		Open vessel (TOC method)		15.6°C (60.1°F)
<i>Liquid</i>		Auto Ignition Temperature		470°C (878°F)
(25°/4°C)	0.7866	Viscosity		
(20°/4°C)	0.7915	<i>Liquid</i>		
(15°/4°C)	0.7960	-25°C (-13°F)		1.258 mPa s
<i>Vapour</i>	1.11	0°C (32°F)		0.793 mPa s
Vapour Pressure		25°C (77°F)		0.544 mPa s
20°C (68°F)	12.8 kPa (1.856 psia) (96 mm Hg)	<i>Vapour</i>		
25°C (77°F)	16.96 kPa (2.459 psia) (127.2 mm Hg)	25°C (77°F)		9.68 µPa s
Latent Heat of Vapourization		127°C (261°F)		13.2 µPa s
25°C (77°F)	37.43 kJ mol ⁻¹ (279.0 cal g ⁻¹)	Surface Tension		
64.6°C (148.3°F)	35.21 kJ mol ⁻¹ (262.5 cal g ⁻¹)	20°C (68°F)		22.6 mN m ⁻¹
Heat Capacity at Constant Pressure		25°C (77°F)		22.07 mN m ⁻¹
25°C (77°F) (101.3kPa)		Refractive Index		
<i>Liquid</i>		15°C (59°F)		1.33066
	81.08 J mol ⁻¹ K ⁻¹ (0.604 cal g ⁻¹ K ⁻¹) (0.604 Btu lb ⁻¹ °F ⁻¹)	20°C (68°F)		1.32840
<i>Vapour</i>		25°C (77°F)		1.32652
	44.06 J mol ⁻¹ K ⁻¹ [1] (0.328 cal g ⁻¹ K ⁻¹) (0.328 Btu lb ⁻¹ °F ⁻¹)	Thermal Conductivity		
Coefficient of Cubic Thermal Expansion		<i>Liquid</i>		
20°C	0.00149 per °C	0°C (32°F)		207 mW m ⁻¹ K ⁻¹
40°C	0.00159 per °C	25°C (77°F)		200. mW m ⁻¹ K ⁻¹
		<i>Vapour</i>		
		100°C (212°F)		14.07 mW m ⁻¹ K ⁻¹
		127°C (261°F)		26.2 mW m ⁻¹ K ⁻¹
		Heat of Combustion		
		Higher heating value (HHV)		726.1 kJ mol ⁻¹ (22.7 kJ g ⁻¹)
		(25°C, 101.325kPa)		638.1 kJ mol ⁻¹ [calc] (19.9 kJ g ⁻¹)
		Lower heating value (LHV)		
		(25°C, 101.325kPa)		
		Flammable Limits (in air)		Lower 6.0(v/v)% Upper 36.5(v/v)%

A5. EXTRACCIÓ DE PROPIETATS DE LA DISSOLUCIÓ MÉS L'AIRE (NIST)

Propietats dels components que intervenen en el procés de tresfarença de calor a les temperatures i pressions de treball.

Propietats de l'aire:

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (kg/m³)	Enthalpy (kJ/kg)	Cp (kJ/kg-K)
1	25,000	1,0133	1,1840	424,54	1,0065
2	65,000	2,3633	2,4344	464,60	1,0102
3	55,000	2,3632	2,5881	444,41	1,0093
4					

Propietats del metanol:

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Cp (kJ/kg-K)	Vapor Cp (kJ/kg-K)
1	25,000	0,16981	786,24	0,22497	-105,57	1063,4	2,5346	3,6205
2	55,000	0,44649	767,33	0,56139	-53,544	1083,0	2,6702	4,0588
3								

Propietats de l'aigua:

	Temperature (°C)	Pressure (bar)	Liquid Density (kg/m³)	Vapor Density (kg/m³)	Liquid Enthalpy (kJ/kg)	Vapor Enthalpy (kJ/kg)	Liquid Cp (kJ/kg-K)	Vapor Cp (kJ/kg-K)
1	25,000	0,031699	997,00	0,023075	104,83	2546,5	4,1816	1,9118
2	55,000	0,095950	990,17	0,065565	188,43	2582,4	4,1804	1,9388
3								

A6. SOLIDWORKS I RENDERITZATS

En aquesta mateixa entrega, s'adjunta una carpeta amb els dissenys del motor fets a ordinador, els quals no es mostren al llarg del treball ja que la seva aportació al treball no són rellevants i només mostren la ubicació del sistema proposat en el mateix motor. Per aquest motiu, es mostren alguns renders del disseny a continuació:

